

УДК 669.01

РОЛЬ Д.К. ЧЕРНОВА В СОЗДАНИИ И РАЗВИТИИ УЧЕНИЯ О СОВРЕМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИИ. ЧАСТЬ 2. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ИДЕЙ Д.К. ЧЕРНОВА

Леонтьев Л.И.^{1,2,3}, академик РАН, советник, д.т.н., профессор,
главный научный сотрудник (leo@presidium.ras.ru)

Цуканов В.В.⁴, д.т.н., начальник лаборатории (mail@crism.ru)

Смирнова Д.Л.⁴, инженер третьей категории

¹ Институт металлургии УрО РАН
(620016, Россия, Екатеринбург, ул. Амундсена, 101)

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

³ Президиум РАН
(119071, Россия, Москва, Ленинский пр., 14)

⁴ ЦНИИ КМ «Прометей» имени академика И.В. Горынина НИЦ «Курчатовский институт»
(191015, Россия, Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, 49)

Аннотация. Вторая часть статьи посвящена практическим воплощениям научных «предвидений» Д.К. Чернова, подтвержденных им в реализации понятий точек «а» и «б», строении слитка и возможности с учетом знаний данных температурных границ строить базовые режимы деформирования стальных слитков с последующей термической обработкой. Данные материалы подкреплены современной трактовкой этих положений и дополнительной информацией от авторов.

Ключевые слова: Чернов Д.К., металлы, металлургия, ученые-металлурги, история металлургии, металловедение, металлография, рекристаллизация, дилатометрия, фазовый состав, диаграмма превращения Fe – C.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-11-12-873-877

Определение или, лучше сказать, открытие Д.К. Черновым точек «а» и, особенно, «б» позволило научно обосновать новые подходы в теории и практике деформирования и термической обработки ствольных орудий и снарядов крупного калибра, что дало толчок стремительному развитию не только этой отрасли производства, но и всего машиностроения в России и за ее пределами.

Исходя из пояснений Д.К. Черновым точки «б», авторы в соответствии с ними предлагают рис. 1 – схему режимаковки и последующей термической обработки, итогом которой получается мелкозернистая феррито-перлитная структура.

В настоящее время хорошей иллюстрацией к пониманию смысла точки «б» по Д.К. Чернову является серия фотографий микроструктуры легированной стали мартенситного класса с 0,2 % С (рис. 2) [1].

Эксперимент был построен следующим образом:

- нагрев до 1200 °С с последующим охлаждением – появление игл мартенсита и развитие мартенситного превращения, крупноиглового в крупном зерне;
- дальнейший нагрев 900 → 1050 °С – прохождение диапазона рекристаллизации, зерно размельчается и при охлаждении получается измельченное зерно.

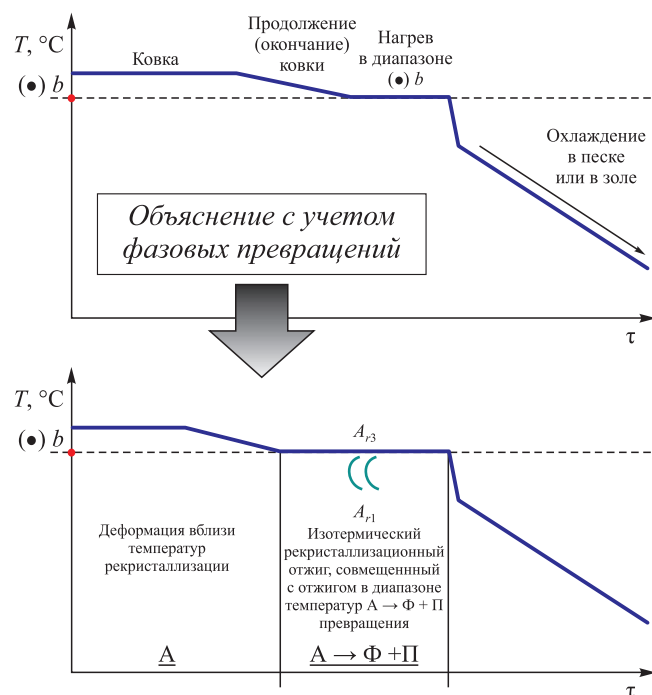


Рис. 1. Схема режимаковки и последующей термической обработки

Fig. 1. Scheme of forging mode and subsequent heat treatment

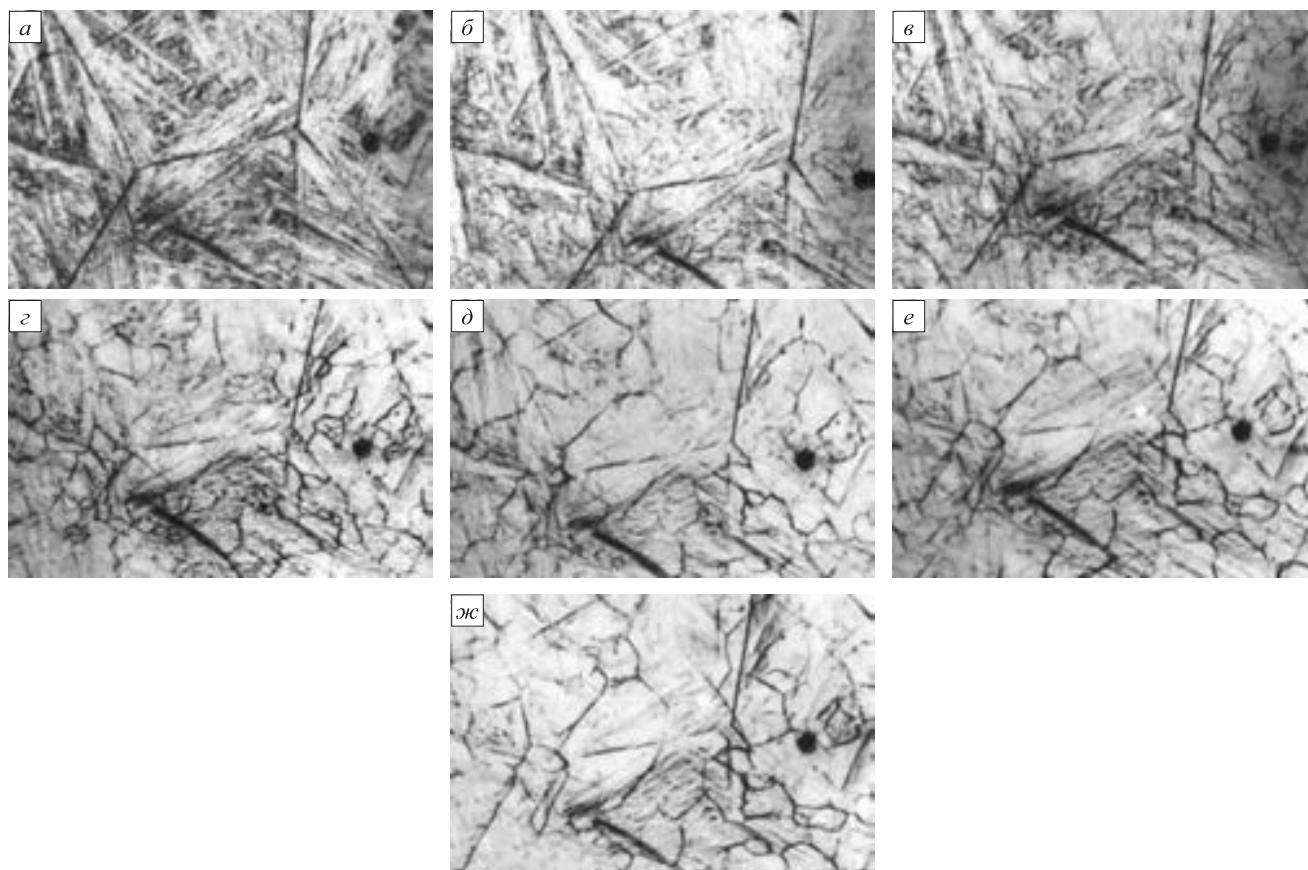


Рис. 2. Кинетика изменения рекристаллизованного аустенитного зерна стали с 0,2 % С ($\times 100$), °С:
а – 900; б – 930; в – 940; г – 960; д – 980; е – 1000; жс – 1050

Fig. 2. Kinetics of change in recrystallized austenitic grain of the steel with 0.2 % C ($\times 100$) at °C:
а – 900; б – 930; в – 940; г – 960; д – 980; е – 1000; жс – 1050

Показано, что нагрев до температур в диапазоне $900 \div 1050$ °С предварительно перегретой до 1200 °С стали приводит к многократному измельчению зерна. При этом наблюдаются следующие особенности изменения перегретой структуры:

- зарождение новых зерен в пределах крупного аустенитного зерна;
- образование новых мелких зерен с повышением температуры и начинающийся незначительный рост ранее образовавшихся зерен;
- устранение границ первичных перегретых зерен, имеющих прямолинейные границы;
- измельчение зерна в диапазоне температур около $60 \div 100$ °С (от 920 до ~ 1050 °С), далее интенсивный рост зерна, но его границы не прямые, а извилистые;
- растворение карбидного осадка [1] в твердом растворе в диапазоне температур рекристаллизации.

Эти прямые эксперименты являются доказательством целесообразности применения рекристаллизационного отжига для измельчения зерен как в ходе отжига, так и для получения мелкозернистого мартенсита при закалке.

Таким образом, можно заключить, что зарождение новых зерен в границах прежнего аустенитного

зерна с размытием старых границ необходимо связывать с процессами рекристаллизации в температурном диапазоне «полосы» (вместо точки «b»). Дальнейший рост зерен происходит с естественным процессом собирательной рекристаллизации и устранением барьеров в виде мелкодисперсных карбидов цементитного типа и специальных карбидов, хотя следы карбида типа VC еще остаются в твердом растворе.

Подводя некоторый итог, можно с уверенностью сказать, что основополагающие новаторские открытия Д.К. Чернова находят свое воплощение в наше время в еще более весомом качестве.

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТВОЛОВ СТАЛЬНЫХ ОРУДИЙ

Установлены и практически применены важнейшие положения, в дальнейшем развитые учеными последующих поколений. Ковка стволов из среднеуглеродистой стали ($\sim 0,4$ % С) производилась с учетом знания о температуре точки «b» и необходимости получения мелкодисперсной структуры послековки. Схема нагрева ствола орудия и его охлаждения в масляном баке показана на рис. 3. Для данных экспериментов Д.К. Чер-

нов использовал кованые стволы орудий, полагая, что прокованная заготовка имеет лучшую структуру, чем литая с возможным большим количеством литейных дефектов.

Д.К. Чернов дал описание предложенной технологии термической обработки в работе [2]. Предварительно подогретая до $\sim 300^\circ\text{C}$ вне печи заготовка ствола орудия помещалась вертикально в печь для дальнейшего нагрева до температуры красного каления (ориентировочно до температуры, соответствующей точке «b»). Далее нагретую заготовку переносили в бак с льняным маслом, выдерживали в баке с маслом короткое время ($\sim 1/2$ мин), чтобы не закалить(!), далее охлажденную несколько ниже точки «b» заготовку перемещали из бака, засыпали песком и медленно охлаждали, так как «ниже точки «b» сталь уже не меняет своего сложения».

Говоря современным языком, охлаждение проводили чуть ниже температуры рекристаллизации, далее при замедленном охлаждении формировалась феррито-перлитная структура в пределах границ зерен, сформировавшихся при нагреве в диапазоне точки «b». Для циркулирования масла в канале ствола просверливали отверстие диаметром ~ 60 мм в районе замка по оси ствола, которое потом запиралось винтом.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ

БРОНЕПРОБИВАЮЩИХ СНАРЯДОВ

С этой целью была изучена технология производства крупнокалиберных снарядов фирмы Круппа и создана прогрессивная технология производства снарядов и орудийных стволов калибра до 12 дюймов на Обуховском заводе.

К 80-м годам XIX в. остро встал вопрос производства бронепробивающих снарядов, особенно к орудиям

больших калибров ($10 \div 12$ дюймов). Лучшими на то время были снаряды фирмы Круппа, и никакая другая фирма не могла их превзойти по пробитию толстых стальных плит. Объявленный в России конкурс, в котором приняли участие многие государственные и частные предприятия, не выявил того, кто мог бы сравниться по качеству снарядов со снарядами фирмы Круппа.

Д.К. Чернов в 1885 г. в докладе Русскому техническому обществу сообщил, с каким материалом в руках ему пришлось приняться за снаряды: «Никаких руководящих мыслей, никаких предположений относительно производства снарядов никем не высказывалось открыто, все покрыто непроницаемой тайной. Это одинаково относится и до иностранной литературы: нигде не появлялось исследований совокупности условий, сопровождающих изготовление стальных снарядов. Таким образом, приходилось начинать все снова» [3].

Проведенные далее Д.К. Черновым многочисленные эксперименты по определению химического состава стали для высокопрочных снарядов большого калибра, технологии получения заготовки (литой и кованой), распределению твердости и получению наиболее эффективного распределения по сечению снаряда позволили разработать оптимизированную технологию производства бронепробивающих снарядов в России.

Основные положения технологии производства бронепробивающих снарядов большого калибра, разработанные Д.К. Черновым, следующие:

- получение индивидуальной заготовки для снаряда, каким бы он ни был, изготовленный методом литья иковки. Причем нужно было избегать внутренних пороков (дефектов в стальной заготовке);
- создание специального твердого слоя, расположенного по зонам снаряда: поверхностным и внутренним;

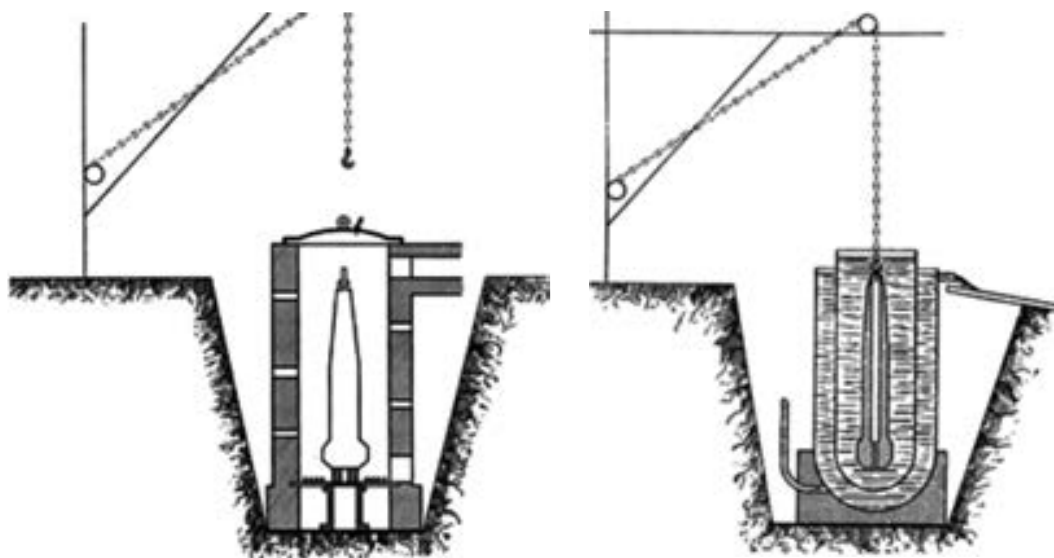


Рис. 3. Схема нагрева ствола орудия и его охлаждения в масляном баке

Fig. 3. Diagram of heating the gun barrel and cooling it in oil tank

- получение минимального уровня остаточных напряжений в объеме металла.

Эти условия удалось выполнить при использовании специальных нагревательных устройств и спрейерной системы охлаждения, представленной на рис. 4.

При разработке технологии производства снарядов большого калибра и их испытаниях при обстреле толстых стальных плит были приобретены новые научные знания, которые впоследствии получили дальнейшее развитие и стали общепринятыми терминами:

– определено, что процесс закалки практически заканчивается при охлаждении до 200 °С и ниже, т. е. найдена критическая точка M_K – температура окончания мартенситного превращения, наиболее эффективно после закалки производить низкий отпуск при 200 °С, а так же определена возможность производить закалку с самоотпуском за счет выделяющегося от центральных зон дополнительного тепла;

– впервые определено явление сверхпластичности при закалке в среде $\geq 220^\circ\text{C}$ и показана возможность правки под молотом искривленных заготовок из стали;

– указано соответствие цветов побежалости стали в зависимости от температуры отпуска стальных изделий;

– впервые дано определение «полной закалки» и «критической скорости закалки», явлениях, способствовавших значительному и более глубокому пониманию процессов термической обработки и фазовых превращений;

– впервые дано понятие о переходе углерода, находящегося в стали в закаленном состоянии, в карбид Fe_3C при проведении отпуска;

– дана оценка деформируемости и разрушения при медленном и быстром нагружении корпусов бронепробивающих снарядов, что практически можно считать за начальные положения будущей науки о механике разрушения.

Д.К. Чернов проявил себя как ученый первооткрыватель и в других сферах науки о металлах. Кратко перечислим их основные направления:

— для создания базовой технологии изготовления стволов и снарядов Д.К. Черновым были изучены процессы кристаллизации слитка, структура литых заготовок, эффект влияния деформаций на изменение макро- и микроструктуры;

– широко применены испытания металлов на разрыв, даны практически современные понятия предела текучести, предела прочности, истинной прочности, характеристик пластичности – удлинения, сужения. Исследование удлинения металла при нагревании и построение этих зависимостей графически заложило основу исследований фазовых и структурных превращений – дилатометрии;

– Д.К. Чернов оценил важное значение применения легирующих элементов для изменения свойств стали. Можно сказать о начале создания им учения о легированной стали.

Эти разработки и глубокие проведенные исследования расширили понимание науки о металлах и позволили более глубоко трактовать сущность происходящих в металле процессов. Управляя этими процессами, можно влиять на свойства стали и создавать новые стали и сплавы для нужд промышленности и развития науки и техники.

Очень важным аспектом деятельности Д.К. Чернова является его более чем 25-летний период преподавательской деятельности [4].

В 1889 г. Д.К. Чернов был приглашен на должность руководителя и профессора кафедры металлургии Михайловской артиллерийской академии в Петербурге. С этого времени начинается его более чем четвертьвековая педагогическая деятельность. Его лекции слушались с захватывающим интересом. Он был выдающимся педагогом, умевшим передать слушателям глубокие теоретические знания и свой огромный производственный опыт. Созданные Д.К. Черновым учебные курсы сталелитейного и чугунолитейного дела отличаются высоким научным уровнем, ясным и четким изложением материала по теоретическим и практическим вопросам артиллерийского производства. Несколько поколений русских артиллеристов прошли серьезную

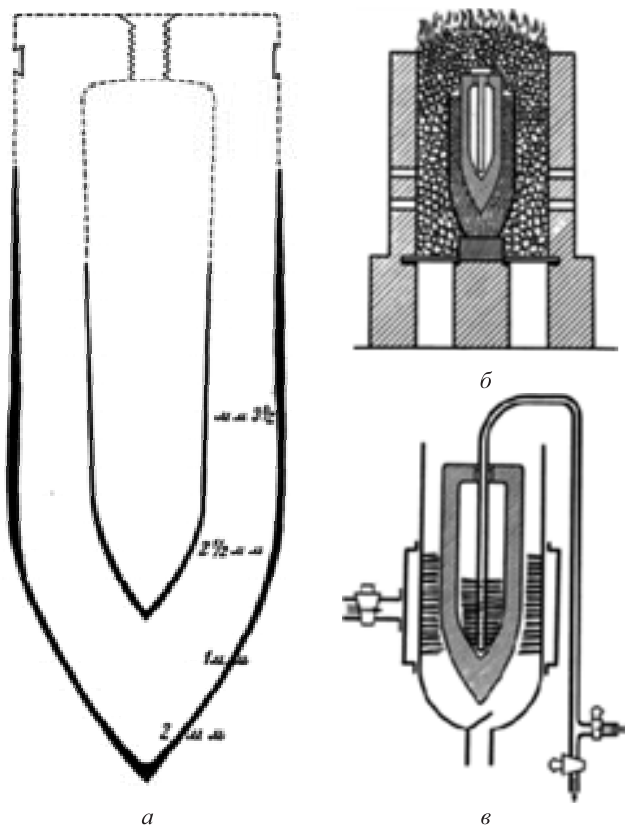


Рис. 4. Распределение твердости по внутренней и наружной поверхности снаряда (*а*), схема нагрева корпуса снаряда для последующей заковки (*б*) и схема охлаждения при заковке корпуса снаряда (*в*)

Fig. 4. Distribution of hardness along the inner and outer surface of the shell (*a*), scheme of heating the shell body for subsequent quenching (*b*) and scheme of cooling at shell body quenching (*c*)

школу под руководством Д.К. Чернова. Многие из них стали в дальнейшем видными учеными в области металлургического производства [5].

В 1914 г., отмечая 75-летие со дня рождения Д.К. Чернова и 25-летие его педагогической деятельности, конференция Артиллерийской академии обратилась к нему с приветственным адресом: «Четверть века тому назад, во всеоружии научной и практической подготовки, Вы вступили в ряды профессоров Михайловской артиллерийской академии и, заняв ответственную и важнейшую для технической подготовки артиллерийских офицеров кафедру металлургии стали, с первых же шагов Вашей деятельности в Академии поставили ее на должную высоту, а затем в течение двадцати пяти лет неустанно и талантливо держали ее на уровне современного состояния науки. Ваши всегда увлекательные лекции, развертывавшие перед слушателями широкие научные горизонты не только в технике металлургии, но и в других соприкасающихся с нею отделах технологии и естествознания, оставляли у слушателей неизгладимое впечатление на всю жизнь и указывали им верные пути для дальнейшего развития и усовершенствования металлургической техники, чем Ваши слушатели широко пользовались при их практической деятельности на службе в артиллерии» [6].

Данный краткий обзор некоторых разработок Д.К. Чернова позволяет по праву считать его основоположником научной металлургии и металловедения, научным руководителем и вдохновителем новых идей развития этих отраслей для многих поколений его последователей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цуканов В.В. Современные стали и технологии в энергомашиностроении. – СПб.: АНО ЛА «Профессионал», 2014. – 464 с.
2. Сообщение имп. Русскому техническому обществу 23 ноября 1868 г. и прения, вызванные им // Записки Императорского Русского Технического Общества. 1868. Ноябрь – декабрь. С. 517 – 527.
3. О приготовлении стальных бронепробивающих снарядов // Записки Императорского Русского Технического Общества. 1885. № 6. С. 83 – 113.
4. Д.К. Чернов и наука о металлах / Под ред. акад. Н.Т. Гудцова. – М.; Л.: Металлургиздат, 1950. – 564 с.
5. Федоров А.С. Очерк жизни и деятельности Д.К. Чернова. – В кн.: Избранные труды по металлургии и металловедению / Под ред. акад. В.Д. Садовского. – М.: Наука, 1983. С. 387 – 414.
6. Головин А.Ф. Значение трудов Д.К. Чернова в развитии отечественной артиллерийской техники // Труды по истории техники. Вып. 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 60.

Поступила в редакцию 17 февраля 2020 г.

После доработки 5 марта 2020 г.

Принята к публикации 14 декабря 2020 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2020. Vol. 63. No. 11-12, pp. 873–877.

D.K. CHERNOV'S ROLE IN CREATING AND DEVELOPING THE DOCTRINE OF MODERN METALLURGY AND METAL SCIENCE. PART 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFIRMATION OF D.K. CHERNOV'S IDEAS

L.I. Leont'ev^{1,2,3}, V.V. Tsukanov⁴, D.L. Smirnova⁴

¹ Institute of Metallurgy UB RAS, Ekaterinburg, Russia

² National University of Science and Technology "MISIS" (MISIS), Moscow, Russia

³ Scientific Council on Metallurgy and Metal Science of Russian Academy of Sciences (Department of Chemistry and Material Sciences), Moscow, Russia

⁴ Academician I.V. Gorynin Central Research Institute of Structural Materials "Prometey" National Research Center "Kurchatov Institute", St. Petersburg, Russia

Abstract. The second part of the article is devoted to the practical realizing of D.K. Chernov's scientific "predictions". They were confirmed by him in the implementation of the concepts of points "a" and "b", structure of the ingot and the possibility, taking into account the knowledge of these temperature boundaries, to build basic modes of deformation and subsequent heat treatment of steel ingots. These materials are supported by a modern interpretation of that provisions and additional materials of the authors.

Keywords: D.K. Chernov, metals, metallurgy, metallurgical scientists, history of metallurgy, metal science, metallography, recrystallization, dilatometry, phase composition, transformation diagram.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-11-12-873-877

REFERENCES

1. Tsukanov V.V. *Sovremennye stali i tekhnologii v energomashinostroenii* [Modern Steels and Technologies in Power Engineering]. St. Petersburg: ANO LA "Professional", 2014, 464 p. (In Russ.).

2. Chernov D.K. Message to the Imperial Russian Technical Society on November 23, 1868, and the debate caused by it. *Zapiski Imperatorskogo Russkogo Tekhnicheskogo Obshchestva*. 1868, noyabr'-dekabr', pp. 517–527. (In Russ.).
3. Chernov D.K. On preparation of steel armor-piercing shells. *Zapiski Imperatorskogo Russkogo Tekhnicheskogo Obshchestva*. 1885, no. 6, pp. 83–113. (In Russ.).
4. *D.K. Chernov i nauka o metallakh* [D.K. Chernov and Science of Metals]. Gudtsov N.T. ed. Moscow; Leningrad: Metallurgizdat, 1950, 564 p. (In Russ.).
5. Fedorov A.S. Outline of D.K. Chernov's life and work. In: *Izbrannye trudy po metallurgii i metallovedeniyu* [Selected Works on Metallurgy and Metal Science]. Sadovskii V.D. ed. Moscow: Nauka, 1983, pp. 387–414. (In Russ.).
6. Golovin A.F. Significance of D.K. Chernov's works in the development of Russian artillery technology. In: *Trudy po istorii tekhniki* [Proceedings on Technics History]. Issue 2. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1953, p. 60. (In Russ.).

Information about the authors:

L.I. Leont'ev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Academician, Adviser of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher

(leo@presidium.ras.ru)

V.V. Tsukanov, Dr. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory

(mail@crism.ru)

D.L. Smirnova, Engineer

Received February 17, 2020

Revised March 5, 2020

Accepted December 14, 2020