

УДК 669.01

РОЛЬ Д.К. ЧЕРНОВА В СОЗДАНИИ И РАЗВИТИИ УЧЕНИЯ О СОВРЕМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИИ. ЧАСТЬ 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТКРЫТИЯ 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. Статья содержит информационный материал о существе открытий, сделанных Д.К. Черновым в области науки о металлах, теории и практики термической обработки, новых видов испытаний и исследований во взаимосвязи с развитием этих областей знания в настоящее время. Значимость новых научных открытий, а Д.К. Чернов был реальным первооткрывателем чрезвычайно важных явлений в области фазовых и структурных превращений, строении отливок, изучении прочности стальных изделий, несомненно, ставит имя Д.К. Чернова на первое место в мировом ряду ученых – металлургов, металлоспециалистов. Сделанные им открытия в последующем позволили развить науку о металлах и ее разделы – металлургию, деформируемость стали, теорию фазовых и структурных превращений, испытания и исследование металлов, теорию и технологию термической обработки.

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

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-10-796-801

Имя Дмитрия Константиновича Чернова (1839 – 1921 гг.) широко известно нашим современникам, особенно интересующимся историей науки о металлах, работающим в этой сфере знаний. В 2019 г. исполнилось 180 лет со дня рождения выдающегося ученого, первооткрывателя в создании и развитии учения о современной металлургии и металлоспециализации.

В середине XIX в. в мире начинал происходить переход от бронзовых и чугуновых орудий к стальным кованым орудийным стволам. Это в принципе позволяло увеличить калибр орудий, их дальность и износостойкость. Данный переход наблюдался как для полевых орудий, так и для орудий береговых батарей и корабельных пушек, в том числе для нового класса кораблей – броненосцев.

В России этот процесс становления нового производства был тернистым, трудным и не дающим стабильного положительного результата. Орудия единственного тогда в России Златоустовского завода изготавливались в ограниченных размерах и, говоря современным языком, без строгого научного подхода.

Таким образом, при недостатке собственного опыта, были сделаны попытки заимствования сведений от опытных западных производителей. Наибольшим опытом и освоенным производством в больших масштабах обладало предприятие известного немецкого фабриканта Круппа, но по недоступности его фабрики для посетителей и строгого хранения секретов изготовления, информация по производству была полностью закрыта. На эту, на первый взгляд неразрешимую проблему, обратил внимание Д.К. Чернов, работавший на Обуховском заводе с 1866 г. по приглашению Обухова П.М. Нельзя сказать, что в Российской печати не было трудов наших ученых, посвященных развитию металлургического производства и попыткам получения качественных поковок. Однако эти труды не были систематизированы, отличались эмпирическим стилем изложения без опоры на какие-либо научно обоснованные положения.

История производства качественной стали в России практически начиналась с работ Павла Петровича Аносова [1, 2], которого небезосновательно считают основоположником технологии производства литой

высококачественной стали. Одним из важных открытий в области металлургического производства был изобретенный в 1837 г. передел чугуна в сталь методом скрап-рудного процесса. В качестве флюса применялся доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Была разработана полная технология выплавки стали, включая и скрап-рудный процесс. Велики заслуги П.П. Аносова в создании первоначального учения о производстве стали, он воспитал блестящую плеяду своих учеников, одним из которых был Павел Обухов.

П.М. Обухов в 60-х годах XIX в. совместно с Н.И. Путиловым основал в Санкт-Петербурге крупный артиллерийский завод «Товарищество П.М. Обухова» (1863 г.). С 1864 г. начато производство стальных пушечных стволов.

С увеличением калибра орудия и, соответственно, размеров исходных слитков, обнаруживался большой процент дефектов, при выстрелах вызывающих разрыв стволов (иногда при первом выстреле), что приводило к гибели и увечьям артиллеристов. В результате неудач при изготовлении орудий на Обуховском заводе возникло предложение передать заказы на пушки иностранным заводам, отказавшись от их производства в России.

Работая на заводе около двух лет, Д.К. Чернов изучал причины брака стальных пушек. Производство завода стало практически экспериментальной лабораторией, где он проводил свои наблюдения и опыты.

При этом необходимо отметить, что Д.К. Чернов не имел никаких технических средств для измерения температур и пользовался только цветами каления и наблюдениями над состоянием поверхности закаленной стали. Его наблюдения показали, что низкие механи-

ческие свойства стали связаны с ее структурной крупнозернистостью и по всем признакам объясняются температурным режимом горячей пластической деформации.

Впервые в печати свое мнение по практике производства пушечных стволов Д.К. Чернов изложил в 1868 г. [3]. Он отмечал важное и полезное значение для развития металлургического производства в России трудов А.С. Лаврова и Н.В. Калакуцкого 1866 и 1867 гг. издания [4, 5]. Свои критические замечания, предложения и рекомендации на основе собственного опыта Д.К. Чернов изложил в труде «Краткий обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д.К. Чернова исследования по этому предмету» [3]. Анализ этих трудов одновременно с учетом результатов своих исследований позволил Д.К. Чернову прийти к очень важным и основополагающим выводам по строению литых болванок (термин того времени), газообразованию в них, возможным пустотам, а также к практическим рекомендациям о способах плавки и заливке металла в изложницу (форму).

Анализ строения стальных слитков и открытое новое явление – выделение в них древовидных выделений (дендритов), привели к последующему очень важному выводу о необходимости получения более пластичной и вязкой структуры методом ковки.

Важная мысль в этих трудах – исследование влияния производимого нагрева с последующей ковкой на структуру литой стали и на достижение требуемых характеристик. При этом Д.К. Чернов сделал попытку изучить эту взаимосвязь и оценить изменение плотности металла, температурного диапазона ковки и сочетания различных вариантов нагрева и условий ковки.



Рис. 1. Развитие пушечного производства на заводе «Товарищество П.М. Обухова»

Fig. 1. Development of gun production at the factory of “P.M. Obukhov Partnership association”



Рис. 2. Изучение причин разрыва пушечных стволов

Fig. 2. Studying the causes of gun barrels rupture

Основные положения по этой работе следующие (трактовка дается современным языком и более кратко):

- ковка изменяет структуру литого металла, повышая его плотность;
- при ковке происходит заварка внутренних дефектов;
- неконтролируемые нагревы уже прокованного металла уничтожают действияковки (сейчас это надо понимать так, что высокотемпературный нагрев уже прокованного металла приводит к росту зерна и ухудшению излома);
- ковка должна проводиться до бурого цвета металла, так как «фаза перегруппировки» лежит близко к этой температуре.

Д.К. Чернов на основании анализа трудов А.С. Лаврова и Н.В. Калакуцкого отметил: «Наша литература должна гордиться трудами гг. Лаврова и Калакуцкого;

они впервые указали на распределение пустот в литых стальных болванках и зависимость их от обстоятельств плавки и литья, и не их вина, что также пришлось знакомить читателей с большим количеством ошибок в этом деле». В заключении Д.К. Чернов указал, что «до сих пор наши взгляды и предубеждения относительно обработки стали чрезвычайно ложны в своих главных основаниях» [3].

Далее сделаем основной упор на базовые положения учения о стали, развиваемого Д.К. Черновым. Основой многих принципиально новых открытий, сделанных Д.К. Черновым, является установление температурной зависимости нагревов металла (углеродистой стали) на получаемые свойства, в частности, на получение вязкого дисперсного излома разрушенной пробы. Была установлена целая система зависимостей между температурой нагрева Fe–C сплава (в основном с содержанием углерода 0,4 и 0,8 %), характером изменения структуры и видом излома.

Эти наиболее важные открытия (и действительно они были установлены впервые Д.К. Черновым, многократно подтверждены экспериментально и им дано научное объяснение, доступное по тому времени развитию научных знаний) и разработки состоят в следующих положениях:

• **Открытие к 1868 г. критических точек «а» и «b».** Положение точки «а» было определено около 700 °С для железоуглеродистых сплавов (0,4 и 0,8 % С) и трактовалось как температура, при нагреве ниже которой сталь не принимала закалку. В настоящее время это линия PSK на диаграмме Fe–C или критическая точка (линия A_{c1}).

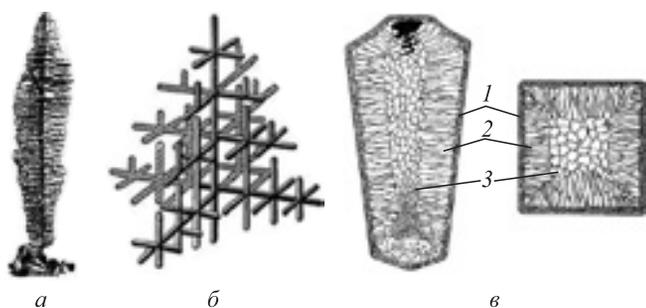


Рис. 3. Кристалл Чернова (а); схема дендрита (б); современное толкование строения слитка (в)

Fig. 3. Chernov's crystal (a); diagram of the dendrite (b); modern interpretation of the ingot structure (c)

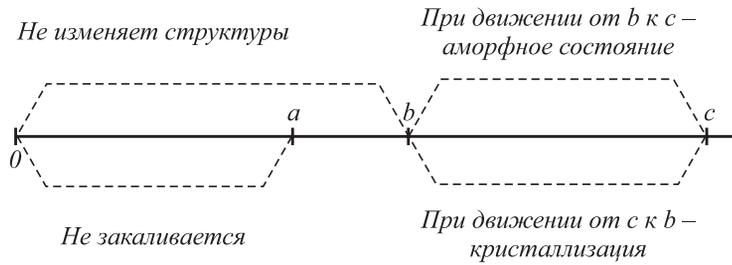


Рис. 4. Схема Д.К. Чернова, представляющая положение критических точек «a», «b» и «c»

Fig. 4. Graph of the position of critical points “a”, “b” and “c” defined by D.K. Chernov

Описание этой чрезвычайно важной схемы фазовых превращений (определение на современном языке) дано Д.К. Черновым (рис. 4) и заключается в следующем: точка «0» определяет нулевую точку термометрической шкалы, точка «a» означает темно-вишневое каление, точка «b» – красное неблестящее каление, а точка «c» – температура плавления данной стали. Точки «a», «b», «c» не имеют постоянного места на шкале и изменяются от состава стали (в частности – от содержания углерода). Д.К. Чернов отмечает, что пределы этих перемещений достаточно малы, но, не имея специальных приборов для точного определения температуры, при-

ходилось ориентироваться по цвету каления, причем было отмечено, что при малом содержании углерода температура, соответствующая точке «b», резко возростала и ей соответствовало «белое каление».

• **Определение точки «b».** Д.К. Чернов в работе [6] отметил: «Ближайшею причиной такого выделения моей точки «b» из тройной точки Осмонда явилось не мое определение точки «b», а мое обозначение на глаз ее температуры для железа белым калением, тогда как третья волна диаграммы Осмонда для железа заканчивалось около 950 °С, и во всяком случае ниже 1000 °С. Более глубокая причина разногласия лежит, однако, в различии методов или признаков определения критических точек. Что касается моей точки «a», то поставленный мною в основу ее определения признак – минимум температуры, необходимой для получения закалки, совпадает с первой волной (a₁) диаграммы Осмонда, и никаких разногласий здесь нет. По отношению к точке «b» вопрос осложняется, так как моя точка обозначает понятие отвлеченное, теоретическое, практически неуловимое».

Одновременно была предложена схема части диаграммы взаимосвязи положения точек «a» и «b» в зависимости от содержания углерода (рис. 5, фиг. I). Дальнейший вид этой части диаграммы, усовершенствованный Д.К. Черновым к 1916 г., представлен на рис. 5, фиг II. [6].

• **Значение точки «b».** Точка «b» имеет более сложный и многофакторный характер влияния на технологию горячей деформации, термическую обработку, вид получаемого излома и механические свойства. Основные положения следующие [7]:

– сталь, будучи нагрета ниже точки «b», не изменяет своей структуры – медленно или быстро после того она охлаждается... Как только температура стали возвысилась до точки «b», масса стали быстро переходит из зернистого (или вообще говоря, кристаллического) в аморфное (воскообразное состояние (этот переход вполне аналогичен перемене агрегатного состояния) – примечание Д.К. Чернова, 1914 г.;

– чем больше в стали углерода (до 0,8 % С), тем ниже может быть температура нагрева (т. е. температура точки «b» снижается);

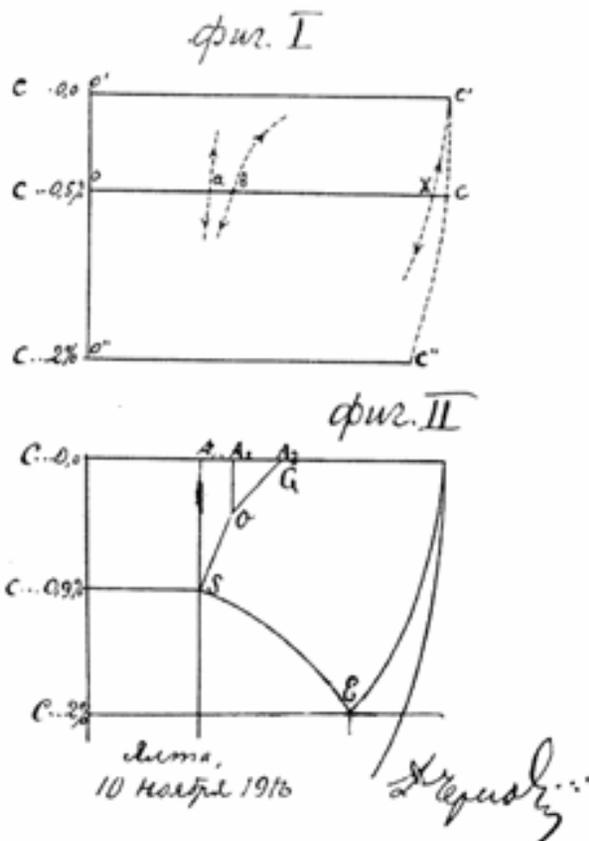


Рис. 5. Диаграммы взаимосвязи положения точек «a» и «b» в зависимости от содержания углерода

Fig. 5. Diagrams of the relationship of “a” and “b” points position depending on carbon content

– подчеркивается целесообразность нагревов «чуть выше» точки «*b*» для получения вязкого состояния при термических нагревах, а такжековки с нагревом выше точки «*b*» для получения вязкого излома и повышения прочности;

– ковка ниже точки «*b*» часто едва ли возможна, но в малых сечениях будет односторонняя вытяжка в длину (для булата возможно, но при нагреве в области точки «*b*» и выше, узора, свойственному булату, не будет);

– лучше всего ковать, нагревая выше точки «*b*», в процессековки опускать температуру в диапазоне точки «*b*» (будет наблюдаться неоднородность структуры), далее нагревать до точки «*b*» и быстро охлаждать за ее пределы с дальнейшим медленным охлаждением в песке или золе. После этого достигается вязкий излом в стали. Итоговый вывод: такой термической обработке необходимо подвергать все крупные стальные изделия (реально – это «изотермический отжиг» в диапазоне $A_{r3} \div A_{r1}$).

Экспериментальный материал, с которым работал Д.К. Чернов – стали с 0,4 и 0,8 % С, определялся тем, что нелегированная сталь с 0,4 % С применялась для изготовления стволов орудий (практически в отожженном состоянии по современной терминологии), а нелегированная сталь с 0,8 % С применялась для изготовления крупных бронебойных снарядов.

В итоге Д.К. Чернов видел перспективу применения своих разработок для совершенствования технологии производства поковок: «Нужно стремиться достигнуть того, чтобы наши орудия были по возможности мелкозернистого сложения; для этого следует, как мы видели,

после нагрева болванки до высокой температуры ковать до тех пор, пока она не остынет до температуры, обозначенной мною точкой «*b*»; тогда вместе с изменением куска в данную форму мы не дадим ему кристаллизаться и по возможности приблизим структуру его к аморфной массе» [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аносов П.П. Об опытах закалки стальных вещей в сгущенном воздухе, произведенных в 1828 – 1829 гг. // Горный журнал. 1829. Кн. 10. С. 126 – 131.
2. Аносов П.П. О булатах. Сочинение корпуса горных инженеров г-на Аносова. Часть 1, СПб, 1841. Часть 2, Златоуст, 1841 // Горный журнал. 1841. Кн. 2. С. 157 – 317.
3. Чернов Д.К. Критический обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д.К. Чернова исследования по этому же предмету // Записки Императорского Русского Технического Общества. 1868. №7.
4. Лавров А.С. О приготовлении стальных орудий // Артиллерийский журнал. 1866. № 10, 11.
5. Калакуцкий Н.В. Материалы для изучения стальных орудий // Артиллерийский журнал. 1867. № 5, 7, 9, 10.
6. Письмо проф. Д.К. Чернова редактору «Журнала Русского Metallургического Общества» // Журнал Русского Metallургического Общества. 1916. № 3, 4.
7. Доклад Д.К. Чернова на II Всероссийском съезде деятелей по горному делу, металлургии и машиностроению 17 апреля 1913 г.
8. Чернов Д.К. Критический обзор статей Лаврова и Калакуцкого / В кн.: Д.К. Чернов и наука о металлах. – Ленинград; Москва: Metallургиздат, 1950. С. 91.

Поступила в редакцию 17 февраля 2020 г.

После доработки 5 марта 2020 г.

Принята к публикации 18 октября 2020 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2020. Vol. 63. No. 10, pp. 796–801.

D.K. CHERNOV'S ROLE IN CREATING AND DEVELOPING THE DOCTRINE OF MODERN METALLURGY AND METAL SCIENCE. PART 1. D.K. CHERNOV'S MAIN THEORETICAL AND INDUSTRIAL DISCOVERIES

L.I. Leont'ev^{1,2,3}, *V.V. Tsukanov*⁴, *D.L. Smirnova*⁴

¹Institute of Metallurgy UB RAS, Ekaterinburg, Russia

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

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

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

Abstract. The paper contains informational material about the essence of the discoveries made by D.K. Chernov in the field of metal science, theory and practice of heat treatment, new types of tests and investigations. D.K. Chernov was a real pioneer of extremely important phenomena in the field of phase and structural transformations, casting structure, and study of strength of steel products. Significance of his discoveries, undoubtedly, puts D.K. Chernov's name on the first place in a row of world scientists – metallurgists and metal scientists. Later his discoveries allowed one to develop the science of metals and its subdisciplines – metallurgy, steel deformability, theory of phase and

structural transformations, tests and research of metals, theory and technology of heat treatment.

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

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-10-796-801

REFERENCES

1. Anosov P.P. The experiments on hardening steel products in condensed air, made in 1828–1829. *Gornyi zhurnal*. 1829, Book 10, pp. 126–131. (In Russ.).
2. Anosov P.P. Bulat. Composition of the corpus of mining engineers. Part 1: St. Petersburg, 1841. Part 2: Zlatoust, 1841. *Gornyi zhurnal*. 1841, Book 2, pp. 157–317. (In Russ.).
3. Chernov D.K. A critical review on articles of Lavrov and Kalakutskii on steel and steel tools and D. K. Chernov's own research on the same subject. *Zapiski Imperatorskogo Russkogo Tekhnicheskogo Obshchestva*. 1868, no. 7. (In Russ.).
4. Lavrov A.S. Production of steel tools. *Artilleriiskii zhurnal*. 1866, no. 10, 11. (In Russ.).

5. Kalakutskii N.V. Materials for investigation of steel tools. *Artilleriiskii zhurnal*. 1867, no. 5, 7, 9, 10. (In Russ.).
6. Chernov D.K. Letter from Prof. D.K. Chernov to the editor of the Journal of the Russian metallurgical society. *Zhurnal Russkogo Metallurgicheskogo Obshchestva*. 1961, no. 3-4. (In Russ.).
7. *Doklad D.K. Chernova na II Vserossiiskom s"ezde deyatelei po gornomu delu, metallurgii i mashinostroeniyu 17 aprelya 1913 g.* [Report of D.K. Chernov at the II All-Russian Congress of Mining, Metallurgy and Mechanical Engineering on April 17, 1913]. (In Russ.).
8. Chernov D.K. Critical review on articles of Lavrov and Kalakutskii. In: *D.K. Chernov i nauka o metallakh* [D.K. Chernov and Metal Science]. Leningrad; Moscow: Metallurgizdat, 1950, pp. 91. (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 October 16, 2020