

**Алимов<sup>1</sup> В.И., д.т.н., проф., Пушкина<sup>2</sup> О.В., Жук<sup>3</sup> А.Н.**

<sup>1</sup> - Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина, e-mail: alim41@mail.ru

<sup>2</sup> - Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина, e-mail: ksanaol@mail.ru

<sup>3</sup> - Донецкий национальный технический университет, г.Донецк, Украина, e-mail: banzai10000@mail.ru

## **НАСЛЕДСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ВОЛОЧЕНИЕМ НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АУСТЕНИТИЗАЦИИ ЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПРОВОЛОКИ ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТИ**

**Alimov<sup>1</sup> V.I., Pushkina<sup>2</sup> O.V., Zhuk<sup>3</sup> A.N.**

<sup>1</sup> - doctor of technical sciences, professor, Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine, e-mail: alim41@mail.ru

<sup>2</sup> - Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine, e-mail: ksanaol@mail.ru

<sup>3</sup> - Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine, e-mail: banzai10000@mail.ru

## **HEREDITARY INFLUENCE OF COLD DEFORMATION BY DRAWING ON KINETIC FEATURES OF AUSTENITIZING OF EUTECTOID STEEL FOR HIGH STRENGTH WIRE**

*Изучено влияние степени предварительной холодной пластической деформации (ПХПД) на критические точки стали, близкой к эвтектоидной; показано влияние степени деформации и времени выдержки при 900°C на гомогенность и размер зерна аустенита. Установлено, что степень ПХПД при изученных скоростях не влияет на положение критических точек при нагреве и способствует их повышению при охлаждении. Выявлена нелинейная зависимость между предварительной деформацией и ростом зерна аустенита, при этом степень разнородности и негомогенности аустенита обратно пропорциональна степени предварительной деформации.*

**Ключевые слова:** эвтектоидная сталь, предварительная холодная деформация, аустенитное зерно.

### **Введение**

Размер зерна и высокотемпературное состояние аустенита, полученные в предварительно холодное деформированной стали, определяют ряд особенностей процесса распада переохлажденного аустенита [1-2], которые способствуют ускорению зарождения центров продуктов распада аустенита и, в предельном случае, приводят к изменению кинетики распада по сравнению с известными закономерностями Колмогорова–Миркина [3] и позволяют построить диаграммы нового типа [4].

В свою очередь и размер зерна, и состояние аустенита наследуют те особенности холодное деформированной стали, которые формируются в процессе нагрева, в том числе ниже критических точек [5-6]. Изучение этих особенностей предпринято авторами в ряде работ [7-9] и требует дальнейшего изучения.

## Цель

Целью работы является изучение проявления эффекта наследственности структуры и свойств предварительно холоднодеформированной проволоки заготовки, предназначенной впоследствии для изготовления высокопрочной проволоки, в процессе аустенитизации.

## Методика исследования

Эксперименты проводили на проволочных образцах из стали 85 (% масс.: 0,83 С, 0,64 Mn, 0,26 Si, не более 0,25 Cr, 0,035 P, 0,035 S, 0,2 Cu, 0,25 Ni) diam. 2 мм и длиной 40 мм, деформированных со степенями предварительной холодной пластической деформации (ПХПД) до 75 %.

Для оценки значений критических точек тонкой проволоки специально разработали метод их определения [10]. Изготавливали сборку diam. 18 мм, содержащую отрезки проволоки, неразъёмно соединённые между собой в радиальном направлении, промежутки между которыми заполнены сыпучим металлическим порошком, не претерпевающим фазово-структурные превращения в исследуемом интервале температур. Между проволоками устанавливали спай термопары, свободные концы которой подключали к мультиметру универсальному DT-830В. Затем сборку с термопарой помещали в середину печи, нагревали, а затем охлаждали для прохождения фазово-структурных превращений. Значения температур фиксировали каждые 3 мин до 640°C, а после этого – каждые 30 с. Полученные данные обрабатывали и оценивали значения критических точек.

Для определения влияния ПХПД и времени выдержки на размер зерна аустенита образцы нагревали до температуры 900°C и выдерживали 2, 5 и 10 мин с последующей градиентной закалкой (ГОСТ 5639). После термической обработки изготавливали шлифы по стандартной методике, размер зерна аустенита определяли по трооститной сетке в переходной зоне образцов при помощи оптического микроскопа, затем измеряли микротвёрдость на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1 Н.

## Результаты исследований

Определение критических точек показало, что их температура при нагреве не зависит от степени ПХПД, находится на уровне недеформированных образцов и совпадает со справочными значениями [11] для данной стали (рис. 1 и табл. 1).

Таблица 1

**Критические точки (°С) и длительность фазово-структурного перехода (мин) при нагреве стали 85,**

Состояние стали	A <sub>c1</sub>	A <sub>r1</sub>
Недеформированная	731-734	701-704
Степень ПХПД 27 %	730-733	711-713
Степень ПХПД 75 %	730-733	711-713
Справочные данные [10]	730	700

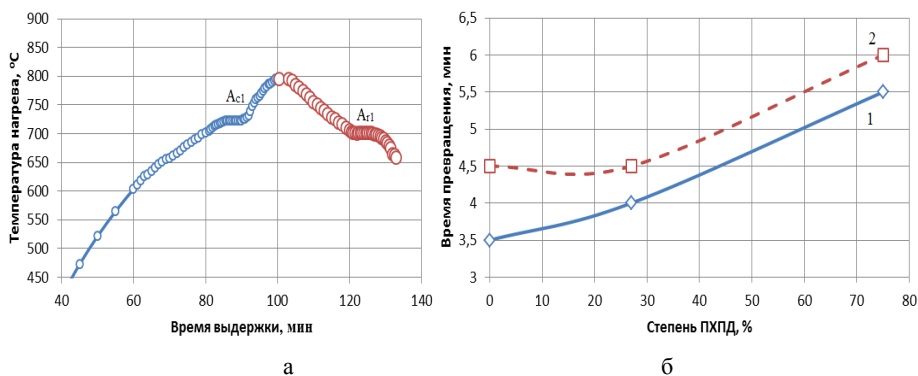


Рис. 1. Определение температуры критических точек для стали с 0,83 % С и степенью ПХПД 75 % (а) и длительность фазово-структурного перехода (б) при нагреве (1) и охлаждении (2)

Видно (табл. 1), что при исследованных скоростях нагрева (500°С/ч), которые близки к реальным при выполнении большинства технологических режимов термической обработки, степень ПХПД не оказывает влияние на смещение критических точек при нагреве; следовательно, при прочих равных условиях, фиксируемое время начала аустенитизации для недеформированной и деформированной стали совпадает. Однако при последующем охлаждении наличие предварительной деформации способствует повышению критической точки  $A_{r1}$ , а значит, и температура обратного аустенито-перлитного превращения. Это может быть связано с сохранившимися структурными дефектами при меньших переохлаждениях, на которых раньше происходит зарождение перлитных колоний, что и ускоряет время начала распада.

Кроме того, надежно фиксируется тенденция увеличения длительности фазово-структурного перехода в предварительно деформированном состоянии по сравнению с недеформированным (рис. 1б), информация о чем слабо освещена в научной литературе.

Микроструктуры, размер зерна аустенита и микротвердость образцов после аустенитизации и градиентной закалки в воде приведены на рисунках 2–4 соответственно. В таблице 2 показан коэффициент вариации размера аустенитного зерна, рассчитанный в программе Statistica, который дает возможность качественно оценить степень разноразмерности аустенита в исследуемых образцах.

При низких степенях ПХПД (27 %) замечен рост зерна (рис. 2-3), который, возможно, указывает на критическую степень деформации для изученной стали.

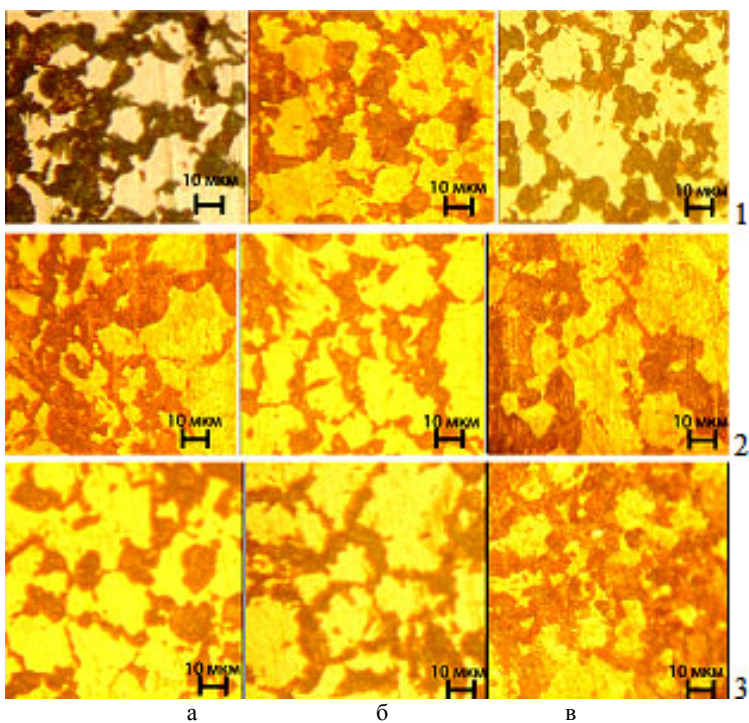


Рис. 2. Структура образцов из стали 85 при выдержке 2 (а), 5 (б) и 10 (в) мин, х476: 1 – недеформированные, 2 – степень ПХПД 27 %, 3 – степень ПХПД 75 %

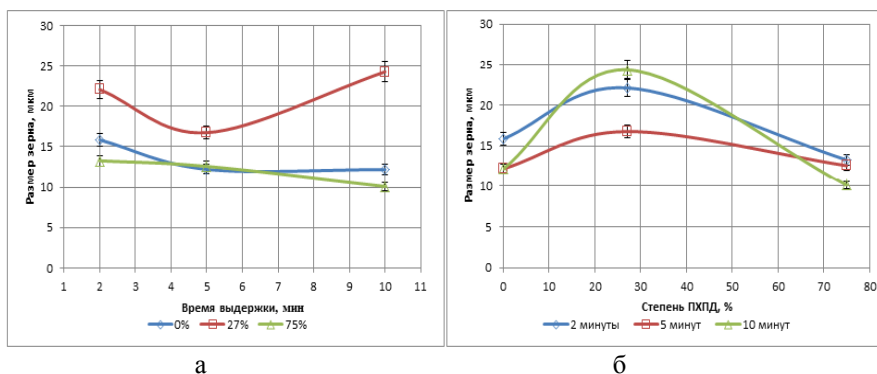


Рис. 3. Размер аустенитного зерна в зависимости от времени аустенитизации (а) и степени ПХПД (б)

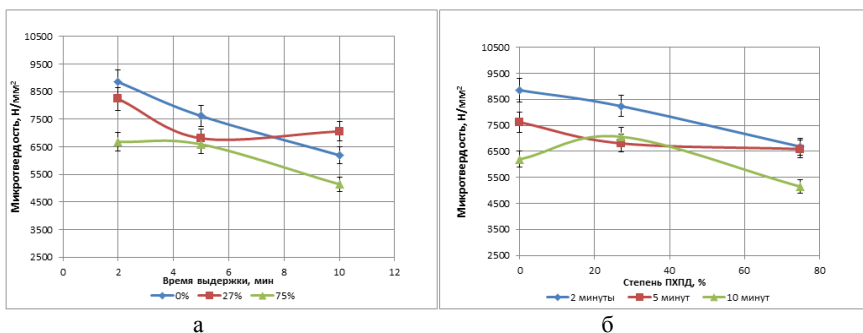


Рис. 4. Микротвердость бывших аустенитных участков после градиентной закалки в зависимости от времени аустенизации (а) и степени ПХПД (б)

Таблица 2

**Коэффициент вариации размера зерна аустенита, %**

Время выдержки, мин	Степень ПХПД, %		
	0	27	75
2	99	114	81
5	80	91	85
10	81	89	72

При минимальной удельной выдержке 1 мин/мм получены максимальные значения размера аустенитного зерна, что может быть объяснено следующим образом. На предыдущих этапах обработки все образцы подвергали промежуточному патентированию с нагревом приблизительно до 900°C, в результате чего размер зерна возрастает, что приводит к получению качественной сорбитной структуры для следующих этапов деформации. Деформация генерирует в структуре стали большое количество дефектов строения, в частности дислокаций, которые, вероятно, сосредотачиваются в большом количестве вблизи границ бывших аустенитных зерен и при последующем нагреве с кратковременной выдержкой приводят к росту размера аустенитного зерна. Увеличение выдержки при температуре нагрева нивелирует этот эффект и приводит к измельчению зерна. Как с возрастанием степени деформации, так и с увеличением времени выдержки микротвердость образцов падает (рис. 3), что свидетельствует о гомогенизации аустенита с течением времени (рис. 3а), а также об ускоренной аннигиляции дефектов, внесенных предварительной деформацией, при повышении степени ПХПД (рис. 3, б).

Снижение коэффициента вариации размера зерна (табл. 2) при повышении степени ПХПД указывает на то, что рост степени предварительной деформации способствует уменьшению разнородности стали при аустенизации.

## Выводы

1. Разработан оригинальный метод определения критических точек стали, используемый для тонких проволок, заключающийся в изготовлении сборки из неразъемно соединенных проволок, в которую монтируется термопара и далее измерения ведутся по стандартной методике.
2. При скоростях нагрева, близких к используемым в производственной практике, степень ПХПД не влияет на изменение критических точек эвтектоидной стали при нагреве, вследствие чего фиксируемое время начала образования аустенита у деформированной и недеформированной стали совпадает, однако при охлаждении предварительная деформация повышает точку  $A_{r1}$ .
3. Установлена тенденция к увеличению длительности фазово-структурного перехода с повышением степени ПХПД.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов В.И. Фазовые и структурные превращения при деформационно-термической обработке проволоки / В.И. Алимов, О.В. Пушкина. – Донецк: Донбасс, 2012. – 242 с.
2. Дьяченко С.С. Образование аустенита в железо–углеродистых сплавах / С.С. Дьяченко. – М.: Металлургия, 1982. – 128 с.
3. Алимов В.И. Кинетика распада переохлажденного аустенита предварительно холоднодеформированной стали при неизотермическом охлаждении в сыпучем графите / В.И. Алимов, О.В. Пушкина, И.В. Пономарева // Наукові праці ДонНТУ (Серія «Металургія»). – Донецьк, 2013. – Вип. 1 (16) – 2 (17). – С. 156–167.
4. Алимов В.И. Диаграмма распада переохлажденного аустенита при сорбитизации в графите заготовки для тонкой высокопрочной проволоки / В.И. Алимов, О.В. Пушкина, И.В. Пономарева // Науковий вісник ДГМА. – 2013. – №1(11Е). – С. 5–11.
5. Алимов В.И. Свойства прочной вязальной проволоки после дорекристаллизационного отжига / В.И. Алимов, О.В. Пушкина // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – Т. 6, № 2 (14). – С. 29–31.
6. Алимов В.И. Интенсификация трансформации карбидов в высокоуглеродистой стали холодной пластической деформацией / В.И. Алимов, М.В. Георгиаду, О.В. Олейникова (Пушкина) // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Луганськ, 2010, №1(12). – С. 101–110.
7. Алимов В.И. К вопросу повышения технологической пластичности холоднодеформированной стали перекристаллизационным отжигом / В.И. Алимов, О.В. Олейникова (Пушкина) // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Луганськ, 2011, №1(12). – С. 66–71.
8. Пушкина О.В. О росте зерна аустенита в стали, близкой к эвтектоидной / О.В. Пушкина, А.Н. Жук // XIII Междунар. научно-техн. Уральская школа-семинар молодых ученых – металлургов: Сб. научн. трудов. – Екатеринбург, 2012. – С. 35–37.
9. Алимов В.И. К вопросу влияния холодной деформации на рост зерна аустенита / В.И. Алимов, О.В. Пушкина, А.Н. Жук // Наукові дослідження молоді – інновації в науці та практиці: Сб. тезисов докладов научно-практ. конф. – Мариуполь, 2013. – С. 86–87.

10. Патент на корисну модель України по заявці № u201315115 від 23.12.2013. Збірка для визначення критичних точок у сталевому дроті / Алімов В.І., Пушкіна О.В., Жук О.М., Георгіаду М.В., Зозуля А.П.
11. Стали и сплавы. Марочник / В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев, В.С. Палеев и др. // науч. ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев. – М.: Интерметинжиниринг, 2001. – 608 с.

## REFERENCES

1. Alimov, V.I., Pushkina, O.V., 2012. Fazovye I strukturnye prevrashheniya pri deformatsionno-termicheskoy obrabotke provoloki [Phase and structural transformations during deformation and heat treatment of the wire]. Donetsk: Donbass, 242 p. (in Russian)
2. Dyachenko, S.S., 1982. Obrazovanie austenita v zhelezo – uglerodistykh splavah [Formation of austenite in iron-carbon alloys]. Moscow: Metallurgy, 128 p. (in Russian)
3. Alimov, V.I., Pushkina, O.V., Ponomareva, I.V., 2013. Kinetika raspada pereohlazhdennogo austenita predvaritel'no holodnodeformirovannoy stali pri neizotermicheskom ohlazhdenii v sypuchem grafitе [Decay kinetics of supercooled austenite of cold-worked steel during nonisothermal cooling in the bulk graphite] Naukovi praci DonNTU (Serija «Metalurgija») [Scientific works of DonNTU (series "Metallurgy")], Vol. 1 (16) – 2 (17), pp. 156–167. (in Russian)
4. Alimov, V.I., Pushkina, O.V., Ponomareva, I.V., 2013. Diagramma raspada pereohlazhdennogo austenita pri sorbitizacii v grafitе zagotovki dlja tonkoj vysokoprochnoj provoloki [Decay diagram of supercooled austenite of blanks for thin high-strength wire during sorbitizing in graphite], Naukovij visnik DGMA [Scientific Herald of DSEA], #1(11E), pp. 5–11. (in Russian)
5. Alimov, V.I., Pushkina, O.V., 2013. Svoystva prochnoj vjazal'noj provoloki posle dorekristallizacionnogo otzhiga [Properties of strong binding wire after annealing before recrystallization], Tehnologichnij audit ta rezervi virobництва [Technology audit and reserves of manufacture], Vol. 6, #2 (14), pp. 29–31. (in Russian)
6. Alimov, V.I., Georgiadu, M.V., Olejnikova(Pushkina), O.V., 2010. Intensifikacija transformacii karbidov v vysokouglerodistoj stali holodnoj plasticheskoy deformacii [Intensification of transformation of carbides in high-carbon steel by cold plastic deformation], Resursozberigacii tehnologii virobництва ta obrobki tiskom materialiv u masinobuduvanni [Resource Saving Technologies for Production and Pressure Shaping of Materials in Machine-Building]: Book of scientific papers, Lugansk, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Issue 1(11), pp. 101–110. (in Russian)
7. Alimov, V.I., Olejnikova(Pushkina), O.V., 2011. K voprosu povyshenija tehnologicheskoy plastichnosti holodnodeformirovannoy stali perekristallizacionnym otzhigom [To the question of increasing the ductility of cold deformed steel by recrystallization annealing], Resursozberigacii tehnologii virobництва ta obrobki tiskom materialiv u masi-nobuduvanni [Resource Saving Technologies for Production and Pressure Shaping of Materials in Machine-Building]: Book of scientific papers, Lugansk, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Issue 1(12), pp. 66-71. (in Russian)
8. Pushkina, O.V., Zhuk, A.N., 2012. O roste zerna austenita v stali, blizkoj k jevtektoidnoj [О росте зерна аустенита в стали, близкой к эвтектоидной] [About the growth of austenite grains in the steel close to eutectoid], XIII Mezhdunar. nauchno-tehn. Ural'skaja shkola-seminar molodyh uchenyh – metallovedov [XIII International Scientific and Technical. Ural Workshop for young scientists - metallurgists: compilation of science works], pp. 35-37. (in Russian)
9. Alimov, V.I., Pushkina, O.V., Zhuk, A.N., 2013. K voprosu vlijanija holodnoj deformacii na rost zerna austenita [To the question of the cold deformation influence on the grain growth of austenite], Naukovi doslidzhennja molodi – innovacii v nauci ta praktici [Youth Research - Innovations in scientific practice], pp. 86-87. (in Russian)

10. Alimov, V.I., Pushkina, O.V., Zhuk, O.M., Georgiadu, M.V., Zozulja, A.P. Zbirka dlja viznachennja kritichnih tochok u stalevomu droti [Assembly to determine the critical points in steel wire]. Patent of Ukraine, reg. # u201315115, 23.12.2013 [Patent of Ukraine on request #u201315115, 23/12/2013]. (in Ukrainian)

11. Sorokin, V.G., Gervasi, M.A., Paleev, V.S., et al , 2001. Stali i splavy. Marochnik [Steels and alloys. Handbook], Moscow: Intermetinzhiniring, 608 p. (in Russian)

***Алімов В.І., Пушкіна О.В., Жук О.М. Спадковий вплив холодної деформації волочинням на кінетичні особливості аустенізації евтектоїдної сталі для дроту високої міцності.***

*Вивчено вплив ступеня попередньої холодної пластичної деформації (ПХПД) на критичні точки сталі, близької до евтектоїдної; показано вплив ступеню деформації і часу витримки при 900°C на гомогенність і розмір зерна аустеніту. Встановлено, що ступінь ПХПД при вивчених швидкостях не впливає на положення критичних точок при нагріванні і сприяє їх підвищенню при охолодженні. Виявлено нелінійна залежність між попередньою деформацією і зростанням зерна аустеніту, при цьому ступінь різнозернистості і негомогенності аустеніту обернено пропорційна ступеню попередньої деформації.*

**Ключові слова:** евтектоїдна сталь, попередня холодна деформація, аустенітне зерно.

***Alimov V.I., Pushkina O.V., Zhuk A.N. Hereditary influence of cold deformation by drawing on kinetic features of austenitizing of eutectoid steel for high strength wire.***

*This paper aims in studying of manifestations of hereditary-raising effect of the preliminary cold deformation of wire rod on structure and properties during austenitizing.*

*Experimental study has carried out on samples of wire made of steel 85 (% wt.: 0.83C, 0.64 Mn, 0.26 Si, less than 0.25 Cr; 0.035 P, 0.035 S, 0.20 Cu, 0.25 Ni) 2 mm in diameter and 40 mm length, with degrees of preliminarily cold plastic deformation (PCPD) up to 75%. The critical points for all degrees of deformation of the wire were preliminarily measured for which samples were collected into a beam of 18 mm in diameter and set at the middle thermocouple HA (1 mm diameter of weld, diameter of wire 0.5 mm). The bundle was places into the middle of the furnace and heated to formation of pads. The temperature was measured every 3 minutes up to 640°C, and after that - every 30 seconds. Changing of the temperature was recorded by the universal multimeter DT-830B.*

*The original method of determination of critical points of steel used for thin wires, which consists of making the assembly of integrally connected wires, mounting of a thermocouple and further measurements according to standard procedures.*

*Changing of PCPD does not affect the critical points of eutectoid steel during heating at heating rates close to those used in production practice, thereby latching the start of austenite formation in the deformed and non-deformed steel matches, but increases the  $A_{r1}$  point while cooling of preliminary deformed wire.*

*A distinction is made in the duration of the structural phase transformation depending on the degree of preliminary cold deformation.*

*The hereditary influence of cold plastic deformation is one of the important factors contributing to the improvement and optimization of heat treatment of high-strength wire rod.*

**Keywords:** eutectoid steel, preliminary cold deformation, austenite grain.