

УДК 669.017.3

Determining the Optimum Conditions for Heat Treatment of Cold Rolling Mill Rolls by Studying Their Influence on the Microstructure and Properties of the Billet

Polina A. Krapivina* and Michael A. Gervasyev

Ural Federal University

19 Mira Str., Yekaterinburg, 620002, Russia

Received 03.02.2018, received in revised form 27.02.2019, accepted 14.04.2019

Quality, reliability, and service durability of mill rolls are critical factors determining the quality of finished products and efficiency of rolling mills. The main problem that arises in the course of production of steel forged mill rolls is selection of reasonable conditions of heat treatment. As far as the size of the grain with an original structure and the pattern of distribution of separate structural components within the billet play a significant role in formation of final properties of the article, the objectives of this work are studying the heat treatment influence on the microstructure and hardness of steel mill rolls and development of reasonable process conditions on the basis of obtained data, in particular: determining the optimum conditions of primary heat treating the cold rolling mill rolls after their forging to reach the homogeneous structure and reduce the carbide grid score and carbide liquation; determining the optimum conditions of secondary thermal treatment of cold rolling mill rolls to provide the hardness within the range of about 300 HB, favorable structure for industrial frequency current hardening and reduction of carbide network score and carbide liquation; determining the hardening temperature, holding time and cooling rate to obtain the optimum structure and hardness within the range of 650-700 HB. Optimization of heat treatment conditions and analysis of steel microstructure have been performed with the application of cylindrical items (diameter 30 mm, height 20 mm) cut from the sample and template. Based on the study findings some microscopic images of steel microstructure after application of certain heat treatment conditions have been made and data on carbide network and current grain evaluation have been obtained.

Keywords: high-alloy steel, phase composition, heat treatment, rolling mill, microstructure.

Citation: Krapivina P.A., Gervasyev M.A. Determining the optimum conditions for heat treatment of cold rolling mill rolls by studying their influence on the microstructure and properties of the billet, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2019, 12(4), 449-459. DOI: 10.17516/1999-494X-0152.

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: e-burg96_polina@mail.ru

Определение оптимальных режимов термической обработки валков станов холодной прокатки через исследование их влияния на микроструктуру и свойства заготовки

П.А. Крапивина, М.А. Гервасьев
Уральский федеральный университет
Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Качество, надежность и долговечность прокатных валков – решающие факторы, определяющие качество готовой продукции и производительность прокатных станов. Основной проблемой, возникающей в процессе производства стальных кованых прокатных валков, признан выбор рациональных режимов термической обработки. Так как значительную роль в формировании конечных свойств изделия играет величина зерна исходной структуры и характер распределения отдельных структурных составляющих в заготовке, целями настоящей работы являются исследование влияния термической обработки на микроструктуру и твердость стальных прокатных валков и разработка на этой основе рациональных технологических режимов, а именно: определение оптимального режима первичной термической обработки после ковки валков холодной прокатки для получения однородной структуры и уменьшения балла карбидной сетки и карбидной ликвации; определение оптимального режима вторичной термической обработки валков холодной прокатки для обеспечения твердости в диапазоне около 300 НВ, благоприятной структуры перед закалкой токами промышленной частоты и уменьшения балла карбидной сетки и карбидной ликвации; определение температуры закалки, времени выдержки и скорости охлаждения для получения оптимальной структуры и твердости в диапазоне 650-700 НВ. Отработка режимов термической обработки и анализ микроструктуры стали производились на образцах цилиндрической формы (диаметр 30 мм, высота 20 мм), вырезанных с пробы и темплета. По результатам исследования получены микроскопические снимки микроструктуры стали после каждого режима термической обработки и данные об оценке карбидной сетки и действительного зерна.

Ключевые слова: высоколегированная сталь, фазовый состав, термическая обработка, прокатный валок, микроструктура.

Введение

Прокатные валки в процессе своей работы берут на себя значительное усилие, которое возникает непосредственно при работе всей прокатной линии. Материал валков должен обладать высокой закаливаемостью и прокаливаемостью, гарантированной твердостью, стойкостью к износу и контактному выкрашиванию. Качество, надежность и долговечность валков являются решающими факторами, определяющими качество продукции и производительность прокатных станов [1].

Для улучшения эксплуатационных характеристик назначаются оптимальные режимы термообработки. В данной работе проведены исследования на марке стали 75ХМФ [2], задачами которых были:

- 1) определение оптимального режима первичной термической обработки после ковки валков холодной прокатки для получения однородной структуры и уменьшения балла карбидной сетки и карбидной ликвации;

- 2) определение оптимального режима вторичной термической обработки валков холодной прокатки для обеспечения твердости в диапазоне 250-315 НВ, благоприятной структуры перед закалкой токами промышленной частоты (ТПЧ) и уменьшения балла карбидной сетки и карбидной ликвации;
- 3) определение температуры закалки, времени выдержки и скорости охлаждения для получения оптимальной структуры и твердости в диапазоне 650-700 НВ.

В связи с тем что качество закаленного слоя в большой степени зависит от характера и состояния исходной структуры, ее, безусловно, необходимо принимать во внимание. Значительную роль играют величина зерна исходной структуры и характер распределения отдельных структурных составляющих [3]. Наиболее благоприятной при закалке ТПЧ является исходная структура в виде сорбита или мелкопластинчатого перлита. Разнородность структуры не обеспечивает удовлетворительные механические и эксплуатационные свойства. Для обеспечения заданных эксплуатационных и механических характеристик наиболее желательно равномерное распределение мелких скоагулированных карбидов, не превышающих 3 балла. Присутствие на бочке валка вторичных карбидов и карбидов в виде пластин, располагающихся по границам зерен, увеличивает ее склонность к хрупкому разрушению.

Материал и методика исследования

Отработка режимов термической обработки производилась на образцах цилиндрической формы (диаметр 30 мм, высота 20 мм), вырезанных с пробы и темплета.

При выборе температуры перекристаллизации необходимо руководствоваться положением точки A_{c1} , которая зависит от химического состава. Значение точки A_{c1} было взято из марочника сталей и сплавов [2] и теоретически рассчитано:

- по марочнику $A_{c1} = 780$ °С;
- теоретическое значение (в зависимости от химического состава) $A_{c1} = 780,6$ °С.

Время выдержки при температуре перекристаллизации зависит от размеров образца и рассчитывается теоретически. Скорость охлаждения необходимо назначать в соответствии с диаграммой изотермического превращения аустенита в данной стали.

Результаты исследования

Определение оптимального режима первичной термической обработки послековки

Для получения структуры как послековки на образцах был осуществлен отжиг. После отжига были проведены следующие режимы:

- 1) нормализация при 940-960 °С + нормализация при 840-860 °С + отпуск при 670-690 °С;
- 2) нормализация при 960-970 °С + нормализация при 850-880 °С + отпуск при 600-620 °С;
- 3) нормализация при 910 °С + нормализация при 1100 °С + отпуск при 670-690 °С;
- 4) нормализация при 1100 °С + нормализация при 880 °С + отпуск при 670-690 °С;
- 5) нормализация при 1100 °С + отпуск при 670-690 °С.

Результаты оценки микроструктуры и балла действительного зерна представлены в табл. 1.

Карбидная ликвация на образцах как в исходном состоянии, так и после термической обработки отсутствовала.

Полученные данные показали, что повышение температуры перекристаллизации до 1100 °С обеспечивает снижение балла карбидной сетки, однако при этом происходит рост действительного зерна и ухудшение структуры.

Таблица 1. Результаты оценки микроструктуры

Table 1. Results of microstructure study

Проводимая термическая обработка	Карбидная сетка, балл	Микроструктура	Балл действительного зерна
Исходная структура	3,5	Сорбитообразный и скрытопластинчатый перлит + карбиды (рис. 1)	7
Отжиг при 850 °С (в течение 2 ч)	2,5	Зернистый перлит + карбиды (рис. 2)	8-7
Нормализация при 940-960 °С (выд. 30 мин) + нормализация при 840-860 °С (выд. 20 мин) + отпуск при 670-690 °С (выд. 50 мин)	2,5	Зернистый перлит + карбиды (рис. 3)	8-7
Нормализация при 960-970 °С (выд. 1 ч) + нормализация при 850-880 °С (выд. 20 мин) + отпуск при 600-620 °С (выд. 4,5 ч)	2,5	Зернистый перлит + карбиды (рис. 4)	8-7
Нормализация при 910 °С (выд. 1 ч) + нормализация при 1100 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 670-690 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Бесструктурный и зернистый перлит + карбиды (рис. 5)	4-6
Нормализация при 1100 °С (выд. 1 ч) + нормализация при 880 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 670-690 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Бесструктурный и зернистый перлит + карбиды (рис. 6)	4-5
Нормализация при 1100 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 670-690 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Бесструктурный и зернистый перлит + карбиды (рис. 7)	4-6

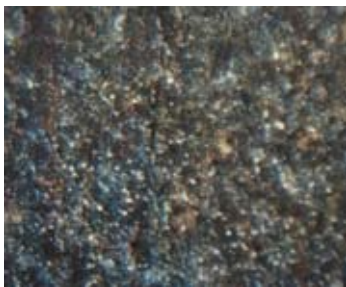


Рис. 1. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ в исходном состоянии (x500)

Fig. 1. The microstructure of a sample of 1.2067 steel in the initial state (x500)



Рис. 2. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после отжига (x500)

Fig. 2. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after annealing (x500)

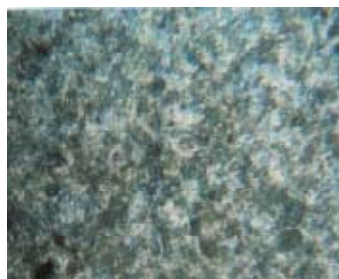


Рис. 3. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 3. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)



Рис. 4. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 4. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)



Рис. 5. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 5. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)



Рис. 6. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 6. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)



Рис. 7. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 7. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

Определение оптимального режима вторичной термической обработки

Наиболее желательной при закалке ТПЧ является исходная структура в виде сорбита или мелкопластинчатого перлита, что соответствует твердости 250-315 НВ. С этой целью после отжига на образцах целесообразно проводить сорбитизацию. Сорбитизация проводилась с температуры 860, 880, 900 °С + отпуск при температуре 570 °С.

Результаты оценки микроструктуры и балла действительного зерна представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты оценки микроструктуры

Table 2. Results of microstructure study

Проводимая термическая обработка	Карбидная сетка, балл	Микроструктура	Балл действительного зерна
Отжиг при 850 °С (в течение 2 ч)	2,5	Зернистый перлит + карбиды (рис. 2)	8-7
Сорбитизация с температуры 8600 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 570 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Сорбит + карбиды (рис. 8)	8-7
Сорбитизация с температуры 880 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 570 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Сорбит + карбиды (рис. 9)	8-7
Сорбитизация с температуры 900 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 570 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Сорбит + карбиды (рис. 10)	8-7



Рис. 8. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 8. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)



Рис. 9. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 9. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)



Рис. 10. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 10. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

На других образцах после термообработки проведена вторичная термообработка – нормализация при 960-970 °С + нормализация при 850-880 °С + отпуск при 600-620 °С.

Результаты оценки микроструктуры и балла действительного зерна отражены в табл. 3.

На следующих образцах после термообработки проведена сорбитизация с температуры 860, 880, 900 °С + отпуск при температуре 570 °С.

Таблица 3. Результаты оценки микроструктуры

Table 3. Results of microstructure study

Проводимая термическая обработка	Карбидная сетка, балл	Микроструктура	Балл действительного зерна
Нормализация при 940-960 °С (выд. 30 мин) + нормализация при 840-860 °С (выд. 20 мин) + отпуск при 670-690 °С (выд. 50 мин)	2,5	Зернистый перлит + карбиды (рис. 3)	8-7
Нормализация при 960-970 °С (выд. 1 ч) + нормализация при 850-880 °С (выд. 20 мин) + отпуск при 600-620 °С (выд. 4,5 ч)	2,0	Сорбит + карбиды (рис. 11)	8-7



Рис. 11. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 11. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

Результаты оценки микроструктуры и балла действительного зерна представлены в табл. 4.

Еще на одних образцах после термообработки проведена сорбитизация с температуры 860, 880, 900 °С + отпуск при температуре 570 °С.

Таблица 4. Результаты оценки микроструктуры

Table 4. Results of microstructure study

Проводимая термическая обработка	Карбидная сетка, балл	Микроструктура	Балл действительного зерна
Нормализация при 940-960 °С (выд. 30 мин) + нормализация при 840-860 °С (выд. 20 мин) + отпуск при 670-690 °С (выд. 50 мин)	2,5	Зернистый перлит + карбиды (рис. 3)	8-7
Сорбитизация с температуры 860 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 570 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Сорбит + карбиды (рис. 12)	8-7
Сорбитизация с температуры 880 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 570 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Сорбит + карбиды (рис. 13)	8-7
Сорбитизация с температуры 900 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 570 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Сорбит + карбиды (рис. 14)	8-7

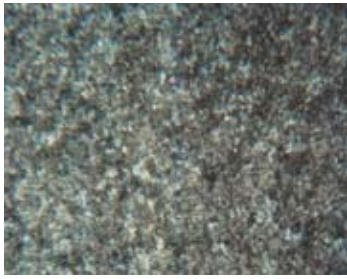


Рис. 12. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 12. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

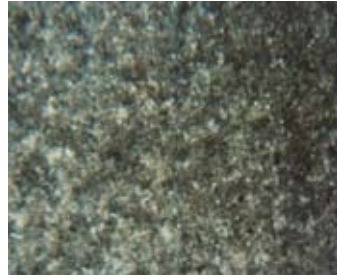


Рис. 13. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 13. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

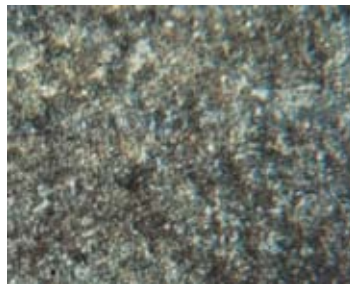


Рис. 14. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 14. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

Результаты оценки микроструктуры и балла действительного зерна представлены в табл. 5.

При проведении сорбитизации с температуры 900 °С на образцах образовывались трещины по поверхности. Таким образом, наиболее оптимальная температура сорбитизации 860 °С.

Таблица 5. Результаты оценки микроструктуры

Table 5. Results of microstructure study

Проводимая термическая обработка	Карбидная сетка, балл	Микроструктура	Балл действительного зерна
Нормализация при 960-970 °С (выд. 1 ч) + нормализация при 850-880 °С (выд. 20 мин) + отпуск при 600-620 °С (выд. 4,5 ч)	2,5	Зернистый перлит + карбиды (рис. 4)	8-7
Сорбитизация с температуры 860 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 570 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Сорбит + карбиды (рис. 15)	8-7
Сорбитизация с температуры 880 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 570 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Сорбит + карбиды (рис. 16)	8-7
Сорбитизация с температуры 900 °С (выд. 1 ч) + отпуск при 570 °С (выд. 1,5 ч)	2,0	Сорбит + карбиды (рис. 17)	8-7



Рис. 15. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 15. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)



Рис. 16. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 16. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

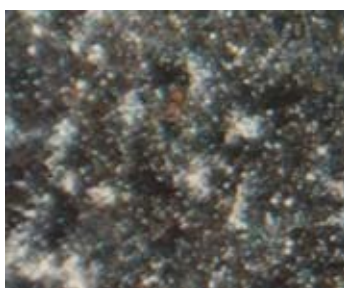


Рис. 17. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 17. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

Определение температуры закалки, времени выдержки и скорости охлаждения

На образцах, прошедших первичную и вторичную термическую обработку, были проведены режимы закалки с выдержкой 1 ч:

- закалка в холодную воду с температуры 860 °С;
- закалка в холодную воду с температуры 880 °С;
- закалка в холодную воду с температуры 900 °С;
- закалка в холодную воду с температуры 920 °С;
- закалка в холодную воду с температуры 950 °С.

Результаты оценки микроструктуры и балла действительного зерна отражены в табл. 6.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что нагрев под закалку ТПЧ необходимо производить до температуры 900 °С. Охлаждение с температур закалки должно быть ускоренным, а значит, холодной водой (температура воды 15 °С и ниже), так как ускоренное охлаждение обеспечивает получение структуры мартенсит или троостомартенсит с твердостью 650-700 НВ.

Таблица 6. Результаты оценки микроструктуры

Table 6. Results of microstructure study

Режим закалки	Микроструктура	Твердость, НВ
Закалка в холодную воду с температуры 860 °С	Троостомартенсит + карбиды (рис. 18)	606-637
Закалка в холодную воду с температуры 880 °С	Троостомартенсит + карбиды (рис. 19)	637-645
Закалка в холодную воду с температуры 900 °С	Мартенсит + троостомартенсит + карбиды (рис. 20)	645-665
Закалка в холодную воду с температуры 920 °С	Троостомартенсит + остаточный аустенит + карбиды (рис. 21)	576-637
Закалка в холодную воду с температуры 950 °С	Троостомартенсит + остаточный аустенит + карбиды (рис. 22)	613-641



Рис. 18. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 18. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)



Рис. 19. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 19. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

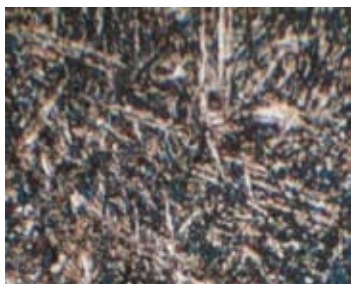


Рис. 20. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 20. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

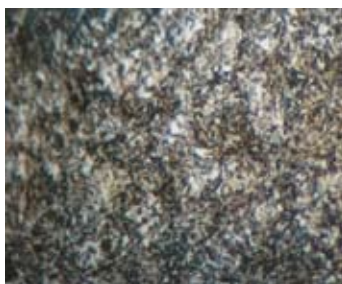


Рис. 21. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 21. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)



Рис. 22. Микроструктура образцов из стали 75ХМФ после термической обработки (x500)

Fig. 22. The microstructure of a sample of 1.2067 steel after heat treatment (x500)

Список литературы

[1] Гедеон М.В. *Термическая обработка валков холодной прокатки*. М.: Металлургия, 1973. 344 с. [Gedeon M.V. *Thermal treatment of cold rolling rolls*. Moscow, 1973. 344 p. (in Russian)].

[2] Сорокин В.Г., Гервасьев М.А. *Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд-е*. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 382 с. [Sorokin V.G., Gervasyev M.A. *Steels and alloys. Database: Reference edition*. Moscow, 2001. 382 p. (in Russian)].

[3] Третьяков А.В. *Валки обжимных, сортовых и листовых станов*. М.: Интернет инжиниринг, 1999. 80 с. [Tretyakov A.V. *Rolls of crimping, sorting and sheet mills*. Moscow, 1999. 80 p. (in Russian)].