

Т.В. Балаханова, Г.А. Кононенко,

О.А. Сафронова, О.Л. Сафронов, О.П. Клинова

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ МІКРОСТРУКТУРИ ОСЬОВИХ ЗАГОТОВОК ПІСЛЯ ПРОКАТУВАННЯ

Анотація. Проведено дослідження особливостей структури осьових заготовок зі сталі марки F (AAR M-101-2017 Axles, carbon steel, heat-treated після повздовжнього прокатування на трубопрокатному агрегаті ТПА 5 – 12" з пілігримовими станами за трьома режимами обтиснень (1 режим: Ш 470 → Ш 380 → Ш 260 мм; 2 режим: Ш 470 → Ш 420 → Ш 260 мм; 3 режим: Ш 470 → Ш 260 мм). Визначення особливостей розподілу деформаційного пророблення та формування кінцевої структури після деформування за дослідними режимами БЛЗ Ш470 мм на круг Ш260 мм є метою досліджень. Зразки для дослідження структури відбирали як від вихідної БЛЗ, так і готової чорнової осі по всьому перерізу. Визначено, що рівномірність зеренної структури найвища після застосування режиму №3 (Ш 470 → Ш 260 мм).

Ключові слова: безперервнолита заготовка, вуглецева сталь, сталь марки F, гаряча деформація, ліквіація, залізнична ось, чорнова ось, прокатка.

Вступ. Задача підвищення якості металопродукції великих перерізів, виробленої з безперервнолитої заготовки (БЛЗ), пов'язана з низкою труднощів. До них відноситься наявність внутрішніх дефектів макроструктури заготовки (осьова пухкість, пористість, ліквіація, кристалізаційні тріщини тощо). У поверхневих ділянках при кристалізації формується найменший рівень ліквіації [1-3]. При цьому, як правило, по перерізу крупногабаритної металопродукції необхідно отримати однорідну структуру по величині зерна.

Створення і освоєння нових технологій і конструкцій станів, оптимізація процесів деформації вимагають знань про зміну структури при переділі БЛЗ на станах гарячої деформації. При пластичній деформації необхідно досягти течії металу для досягнення геометрії виробу, створити раціональну волокнисту будову і виключити вихід центральної зони БЛЗ в район найбільш навантажених зон і до поверхні деталі.

Завдяки деформації окрім досягнення заданої геометрії виробу, можна досягнути ущільнення структури, що сприяє «заварюванню» дефектів та позитивно впливає на зеренну структуру, в тому числі і на подрібнення дендритів, що формуються при кристалізації сталі. На характер деформації осьової зони металу впливають багато параметрів процесу прокатки, питання про проникнення деформації стиснення в осьову зону при прокатуванні представляє не тільки теоретичний, але і практичний інтерес. З іншого боку технологія прокатки повинна бути досить ефективною і з точки зору опрацювання поверхневих шарів металу і викатки в ньому поверхневих дефектів. Найбільші проблеми пророблення вихідної литої структури виникають у центральній частині осьової заготовки, яка є найбільш «проблемною» частиною безперервного злитка. Оскільки рівень ліквації тут найбільший, такий дефект як центральна пористість може бути відсутнім, але щільність металу цієї зони поступається металу з поверхневих частин цієї ж самої заготовки. Центр вихідної заготовки також найбільш забруднений неметалевими включеннями, що пояснюється як більшим рівнем ліквації, так і відтисненням ендогенних включень потоком рідкого металу під час кристалізації.

Постановка мети і завдань дослідження. Метою досліджень є визначення особливостей розподілу деформаційного пророблення та формування кінцевої структури після деформування за дослідними режимами БЛЗ Ø470 мм на круг Ø260 мм.

Матеріал і методика досліджень. Досліджено особливості трансформації мікроструктури осьових заготовок Ø 260 мм зі сталі марки F близького хімічного складу після поздовжнього прокатування на пілігримових станах ТПА 5 – 12" за трьома режимами обтиснень (2 режими за 2 проходи та 1 режим за 1 прохід). Маршрут прокатування наведено в таблиці 1. Зразки для дослідження структури відбирали як від вихідної БЛЗ, так і готової чорнової осі по всьому перерізу.

На рисунку 1 показано розподіл розмірів первинної дендритної структури (загальний розмір суміжної лікваційної смуги і смуги без ліквації) за перерізом чорнової осі. Якщо порівнювати середні розміри слідів дендритної структури після деформації за дослідними режимами, ми бачимо, що найменш раціональним виявляється режим № 1.

Таблиця 1

Опис режимів поздовжнього прокатування на пільгерстані ТПА 5 – 12”
в умовах ТПЦ №4 ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»

Режим деформації, № з/п	Маршрут гарячої деформації
1	Маршрут: Ø 470 → Ø 380 → Ø 260 мм
2	Маршрут: Ø 470 → Ø 420 → Ø 260 мм
3	Маршрут: Ø 470 → Ø 260 мм

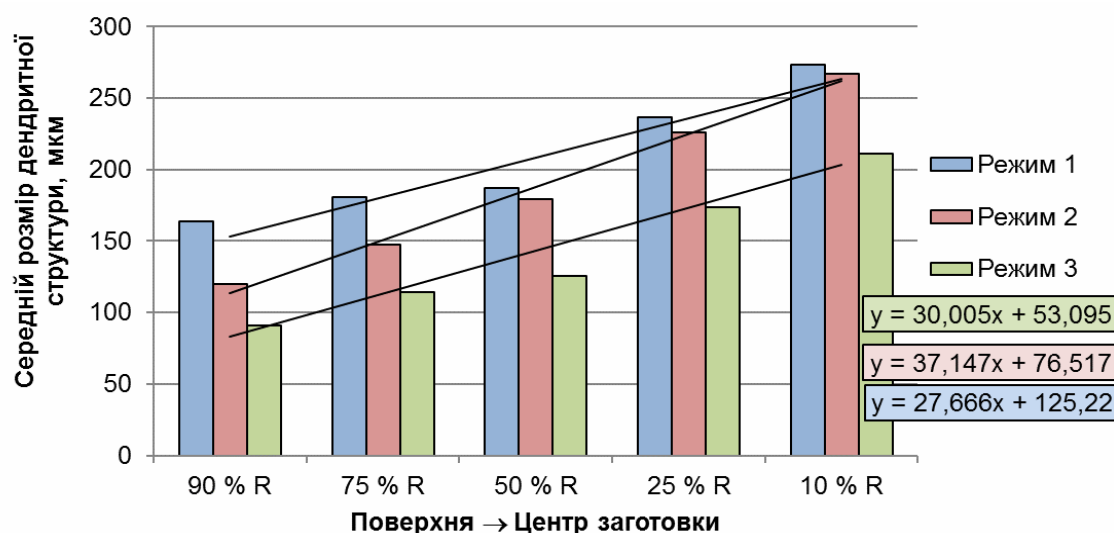


Рисунок 1 – Розподіл розмірів ліквацийних ділянок
за перерізом чорнових осей

При режимі № 2 попри уявну загальну однорідність структури, ліквацийні ділянки є досить великими, що забезпечує неоднорідність структури у мікромасштабі.

Найбільша нерівномірність ліквацийного фону, яка спостерігається у осьовій заготовці, виготовленій із застосуванням режиму № 1, проявляється і під час дослідження мікроструктури залізничних осей, отриманих за вказаними режимами. В цілому середній розмір дійсного зерна вуглецевої сталі марки F зразків всіх досліджених заготовок після двох нормалізацій і відпуску не перевищує 28,0 мкм, що становить не більше 7,0 номера за ASTM E 112 – 13. Однак рівномірність зеренної структури вища із застосуванням режиму №2 (рис. 2), ніж при випробуванні режимів 1 і 3.

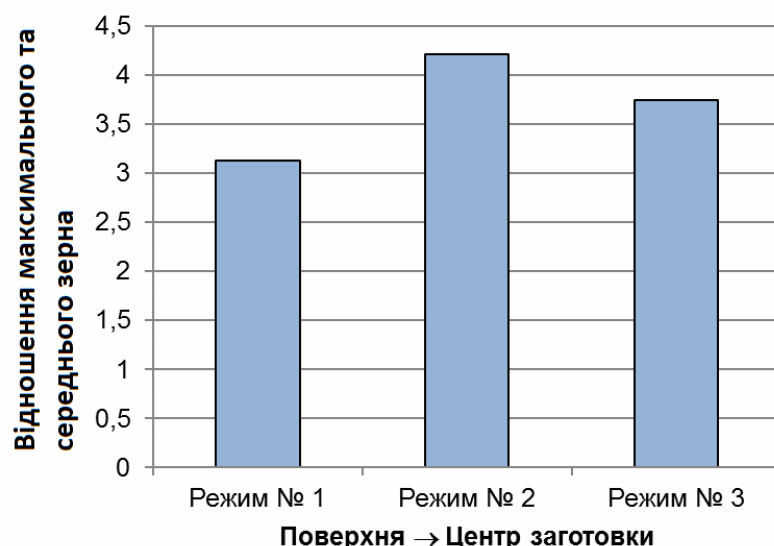


Рисунок 2 – Рівномірність зеренної структури залізничних осей, виготовлених за різними режимами

Така неоднорідність структури може негативно вплинути на експлуатаційні властивості залізничних осей, зокрема на показники втомної міцності [4-6].

Висновок. Розглянуто вплив технології виробництва на особливості структури всього перерізу чорнових осей з вуглецевої сталі марки F (початкова лита заготовка Ø470мм), виготовлених відповідно до вимог стандарту AAR M – 101. Встановлено, що режим №2 (Ø 470 → Ø 420 → Ø 260 мм) забезпечує найбільшу рівномірність зеренної структури осей, а при застосуванні режиму №3 (Ø 470 → Ø 260 мм) спостерігається більша рівномірність за ліквідаційними ділянками за перерізом чорнових осей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Klenam D.E.P., Chown L.H., Papo M.J., Cornish L.A. Characterization of railway stock axle produced from medium-carbon steel. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Advanced Metals Initiative Nuclear Materials Development Network Conference. 2015. P.125-138.
2. Babachenko O.I., D'Omina K.H., Kononenko H.A., Dement'Yeva Zh. A., Podol'S'Kyy R.V., Safronova O.A. Influence of Cooling Rate at Hardening of Continuous Casting Blank on Parameters of Dendritic Structure of Carbon Steel with 0.54% C. Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. 2021. 43,Nº11. P. 1537-1551. DOI: 10.15407/mfint.43.11.1537

3. Babachenko O.I., Kononenko H.A., Podolskyi R.V., Safronova O.A., Taranenko A.O. Structure and Fracture Resistance of Steels in Different Zones of Railway Axles. Materials Science. 2022. №58. P.417–421 (2022). DOI: 10.1007/s11003-023-00679-1
4. Hutny A.M. M. Warzecha, W. Derda, P. Wiczorek Segregation of elements in billets made of carbon steels for long products. Archives of Metallurgy and Materials. 2018. 63,№4. P. 2075-2079. DOI: 10.24425/amm.2018.125145
5. Babachenko O. I., Kononenko H. A., Podolskyi R. V., Safronova O. A. Steel for Railroad Rails with Improved Operating Properties. Materials Science. 2021. №56. P. 814-819. DOI:10.1007/s11003-021-00499-1
6. Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Подольський Р.В., Сафронова О.А. Розроблення хімічного складу сталі та режиму термічної обробки залізничних коліс для експлуатації в легких умовах гальмування за високих навантажень на вісь. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. №1 (96). P. 9-16. DOI: 10.30838/J.PMHTM.2413.240422.9.837

REFERENCE

1. Klenam D.E.P., Chown L.H., Papo M.J., Cornish L.A. Characterization of railway stock axle produced from medium-carbon steel. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Advanced Metals Initiative Nuclear Materials Development Network Conference. 2015. P.125-138.
2. Babachenko O.I., D'Omina K.H., Kononenko H.A., Dement'Yeva Zh. A., Podol'S'Kyy R.V., Safronova O.A. Influence of Cooling Rate at Hardening of Continuous Casting Blank on Parameters of Dendritic Structure of Carbon Steel with 0.54% C. Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. 2021. 43,№11. P. 1537-1551. DOI: 10.15407/mfint.43.11.1537
3. Babachenko O.I., Kononenko H.A., Podolskyi R.V., Safronova O.A., Taranenko A.O. Structure and Fracture Resistance of Steels in Different Zones of Railway Axles. Materials Science. 2022. №58. P.417–421 (2022). DOI: 10.1007/s11003-023-00679-1
4. Hutny A.M. M. Warzecha, W. Derda, P. Wiczorek Segregation of elements in billets made of carbon steels for long products. Arch. Metall. Mater. 2018. 63,№4. P. 2075-2079. DOI: 10.24425/amm.2018.125145
5. Babachenko O.I., Kononenko H.A., Podolskyi R.V., Safronova O.A. Steel for Railroad Rails with Improved Operating Properties. Materials Science. 2021. №56. P. 814-819. DOI:10.1007/s11003-021-00499-1
6. Babachenko O.I., Kononenko H.A., Podolskyi R.V., Safronova O.A. Rozroblennia khimichnoho skladu stali ta rezhymu termichnoi obrobky zaliznychnykh kolis dlia ekspluatatsii v lehkykh umovakh halmuvannia za vysokykh navantazhen na vis.

Analysis of the transformation of the microstructure of axial billets after rolling

The task of improving the quality of metal products of large cross-sections produced from continuous cast billets (CBS) is associated with a number of difficulties. These include the presence of internal defects in the macrostructure of the workpiece (axial looseness, porosity, liquation, crystallization cracks, etc.). Processing from the point of view of deformation of cast workpieces is necessary first of all to eliminate cast defects. An increase in working out contributes not only to the welding of existing microdiscontinuities and, in this connection, to an increase in the density of the metal, but also to the extraction, crushing and reduction of the cross-section of the existing non-metallic inclusions. However, the dimensions of the elements of the primary structure, which are presented on the graphs, are also of the greatest importance. The smallest level of liquation is formed in the surface areas during crystallization. At the same time, as a rule, it is necessary to obtain a homogeneous structure in terms of grain size on the cross-section of large-sized metal products. A study of the features of the structure of axle blanks made of steel grade F (AAR M-101-2017 Axles, carbon steel, heat-treated) after longitudinal rolling on a TPA 5-12" pipe rolling unit with pilgrim mills in three crimping modes (1 mode: $\varnothing 470 \rightarrow \varnothing 380 \rightarrow \varnothing 260$ mm; 2nd mode: $\varnothing 470 \rightarrow \varnothing 420 \rightarrow \varnothing 260$ mm; 3rd mode: $\varnothing 470 \rightarrow \varnothing 260$ mm). Determination of the features of the distribution of deformation work and the formation of the final structure after deformation according to the experimental modes of BLZ $\varnothing 470$ mm per circle $\varnothing 260$ mm is the purpose of the research. Samples for the structure study were taken both from the original BLZ and the finished draft axle along the entire cross-section. The greatest unevenness of the liquation background, which is observed in the axial blank manufactured using mode No. 1, is also manifested during the study of the microstructure of railway of the axes obtained by the indicated modes. It was determined that the uniformity of the grain structure is the highest after using mode No. 3 ($\varnothing 470 \rightarrow \varnothing 260$ mm).

*Key words: continuous billet, carbon steel, F-grade steel, hot deformation, liquida-
tion, railway axle, rough axle, rolling.*

Балаханова Тетяна Валеріївна - канд. техн. наук, старший науковий співробітник Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Кононенко Ганна Андріївна - докт. техн. наук, старший дослідник, вчений секретар Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Сафронова Олена Анатоліївна - молодший науковий співробітник Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Сафронів Олександр Леонідович - молодший науковий співробітник Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Клинова Ольга Пилипівна - провідний інженер Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Tetyana Balakhanova - candidate. technical of Sciences, senior researcher of the Institute of Ferrous Metallurgy named after Z.I. Nekrasova National Academy of Sciences of Ukraine.

Ganna Kononenko - Dr. technical sciences, senior researcher, scientific secretary of the Institute of Ferrous Metallurgy named after Z.I. Nekrasova National Academy of Sciences of Ukraine.

Olena Safronova - junior researcher at the Institute of Ferrous Metallurgy named after Z.I. Nekrasova National Academy of Sciences of Ukraine.

Oleksandr Safronov - junior researcher at the Institute of Ferrous Metallurgy named after Z.I. Nekrasova National Academy of Sciences of Ukraine.

Olga Klynova - leading engineer of the Institute of Ferrous Metallurgy named after Z.I. Nekrasova National Academy of Sciences of Ukraine.