

Прояв структурної спадковості та її вплив на властивості гарячекатаних трубних заготовок різного діаметру

Т. В. Балаханова, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, tatja.balakhanova@gmail.com

Г. В. Левченко, доктор технічних наук, професор, завідувач лабораторії структуроутворення та властивостей відділу термічної обробки металів для машинобудування

А. Ю. Борисенко, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, asbor@ua.fm

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, м. Дніпро

Тенденція зменшення кількості переділів при виробництві прокату, при усьому позитивному економічному ефекті, призводить до того, що метал піддається менш інтенсивній деформаційній дії при нижчих температурах і спадковий вплив морфологічних особливостей первинної кристалізаційної структури, пов'язаної з концентраційною неоднорідністю розподілу ліквуючих елементів при кристалізації (стабілізаторів аустеніту і фериту), буде значно вищий.

Проведено аналіз особливостей спадкового формування кінцевої структури і властивостей трубних заготовок різного отриманих з безперервнолитих сталей марок 45 і 20. В роботі застосовували два різних травителя. Комбінований підхід у виявленні структури дозволяє співвіднести характер розташування кінцевої ферито-перлітної і первинної дендритної структури. Встановлено, що при застосуванні високих ступенів обтискування трубних заготовок, ферито-перлітна неоднорідність, що формується в прокаті з вуглецевої сталі, обумовлена переважанням утворенням фериту в ліквацийних ділянках навколо сульфідних включень. Визначено, що за невеликої деформації сталі марки 45 в ділянках, відповідних колишнім міждендритним просторам, формується більш дрібне зерно перліту. Найбільша структурна неоднорідність дрібне зерно спостерігається в місцях росту (стикування) дендритних гілок другого і третього порядків. При невеликих ступенях деформації сталі 45 відсутній зв'язок формування кінцевої структури з неметалевими включеннями.

Встановлено закономірності спадкового впливу литої структури в безперервнолитих гарячекатаних трубних заготовках з розвиненою дендритною і зональною ліквациєю в нормалізованому прокаті і вуглецевих сталей, що дозволяє одержувати вироби з прогнозованим і керованим комплексом механічних властивостей.

Ключові слова: *структуроутворення, трубна заготовка, ліквация, механічні властивості.*

Механічні властивості прокату визначаються двома основними чинниками: складом і структурою. Кінцева структура залежить в першу чергу від хімічного складу і деформаційно-термічної обробки. Проте необхідно враховувати той факт, що особливості макроскопічної, мікроскопічної або субмікроскопічної будови первинної структури сталі, прояви ліквідації, зберігаються в обробленій сталі після фазових і структурних перетворень (так звана структурна спадковість).

Мікроліквіація, присутня в структурі, бере активну участь у фазових і структурних перетвореннях, які відбуваються в сталях при різних видах деформаційно-термічної впливу. Крім того, неоднорідність хімічної будови нерідко є причиною зародження мікроруїнувань і викликає анізотропію властивостей металевих виробів і деталей устаткування [1, 2].

Тенденція зменшення кількості переділів при виробництві прокату, при усьому позитивному економічному ефекті, призводить до того, що метал піддається менш інтенсивній деформаційній дії за нижчих температур. Тобто і спадковий вплив морфологічних особливостей первинної кристалізаційної структури, пов'язаної з концентраційною неоднорідністю розподілу ліквіруючих елементів при кристалізації (стабілізаторів аустеніту і фериту), буде значно вищий [3].

У літературі досить широко розглянуті питання спадковості структури і властивостей металу. Як правило, основна увага при вивченні спадковості приділялася механізмам утворення і розпаду аустеніту в легованих і високолегованих сталях [4, 5]. Раніше проведені нами дослідження показали факт впливу дендритної структури, яка формується при кристалізації вуглецевих сталей, на характер утворення кінцевої ферито-перлітної структури [6].

Тому, представляє інтерес вивчення закономірностей спадкового формування кінцевої структури і властивостей трубних заготовок різного хімічного складу.

Аналіз впливу ступеню «пророблення» металу на будову кінцевої ферито-перлітної структури, проведено на зразках гарячедеформованих трубних заготовок різного діаметру (120-300 мм). Усі вони були прокатані з безперервнолітої заготовки з початковим розміром 335x400 мм. В якості показника пророблюваності структури використовували коефіцієнт витяжки, який розраховується як відношення площі поперечного перерізу безперервнолітої заготовки до площі перерізу отриманої з неї трубної заготовки. Структура досліджена на зразках із сталей марок 45 і 20. Зразки протравлювали в 4 % розчині азотної кислоти (ніталь) для виявлення ферито-перлітної структури. Після травлення пікратом натрію добре виявляється смугаста структура, обумовлена неоднорідним розподілом кремнію (міжосні ділянки більше збагачені кремнієм, і в пікраті натрію забарвлюються в темніший колір). Чим вище вміст кремнію, тим виразніше малюнок травлення. Окрім цього при такому способі травлення проявляється і кінцева ферито-перлітна структура [7, 8]. Комбінований підхід в виявленні

структури дозволяє співвіднести характер розташування кінцевої ферито-перлітної і первинної дендритної структури.

Виявлено, що після невеликих ступенях гарячої деформації (коефіцієнт витяжки 2,5 і менше) в катаних заготовках зі сталі марки 45 спостерігається значна розмірна неоднорідність зеренної структури, залежна від дендритної ліквідації. У ділянках, що відповідають колишнім міждендритним просторам, формується більш дрібнозерниста структура. Чітко простежується залежність розміщення нерівномірної зеренної структури, не лише від розташування колишніх дендритних і міждендритних ділянок, але і дендритних осей різного порядку. Найбільша структурна неоднорідність – дрібне зерно спостерігається в місцях зросту (стикування) дендритних гілок другого і третього порядків (рис. 1). Така нерівномірність найчастіше спостерігається при прискореному охолодженні і, на думку багатьох авторів, ніколи не спостерігається в рядових марках сталі в гарячекатаних заготовках [4, 5]. Проведені ж в даній роботі дослідження, переконують у зворотньому.

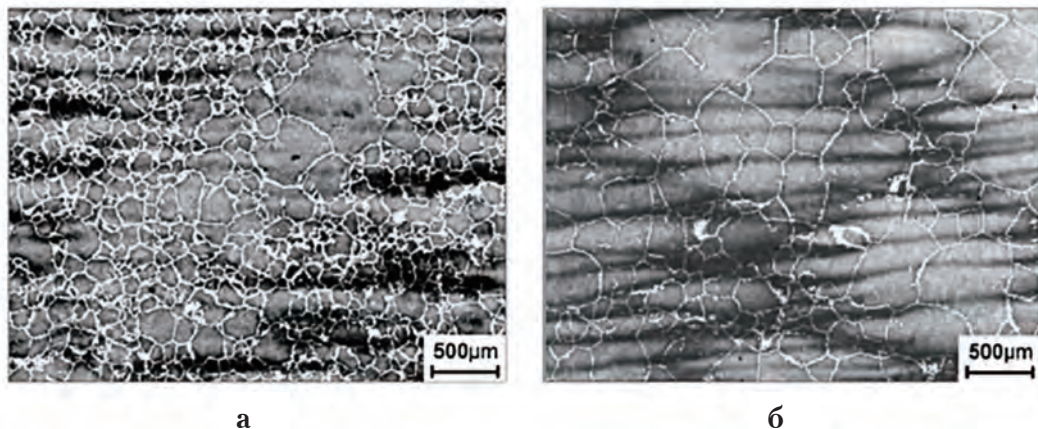


Рис. 1. Мікроструктура гарячекатаних трубних заготовок зі сталі марки 45, а – коефіцієнт витяжки 2,52; б – коефіцієнт витяжки 2,34.

При збільшенні ступеня деформації в трубних заготовках зі сталі марки 45 (коефіцієнт витяжки від 4 і вище) зв'язків різнозернистості перліту з ліквідаційними ділянками практично не спостерігається (рис. 2, а). Проте є чіткий зв'язок структурної смугастості з розподілом неметалічних включень, зокрема сульфідних (рис. 2, б). Після нормалізації досліджуваних зразків трубної заготовки (рис. 2, в) нерівномірність ферито-перлітної структури тільки посилилася, феритні ділянки стали ширше.

Така ж залежність спостерігається і в трубних заготовках з коефіцієнтом витяжки 11,85 зі сталі марки 20. Тут, за аналогією із сталлю марки 45, нерівномірність розподілу феритно-перлітної структури тісно пов'язана з сульфідними включеннями (рис. 3).

У гарячедеформованих заготовках більшого перерізу (коефіцієнт витяжки 3 і нижче) подібної неоднорідності, пов'язаної із сульфідними

включеннями, не спостерігається (рис. 4, а). Перлітні зерна часто прилягають щільно до витягнутих сульфідів.

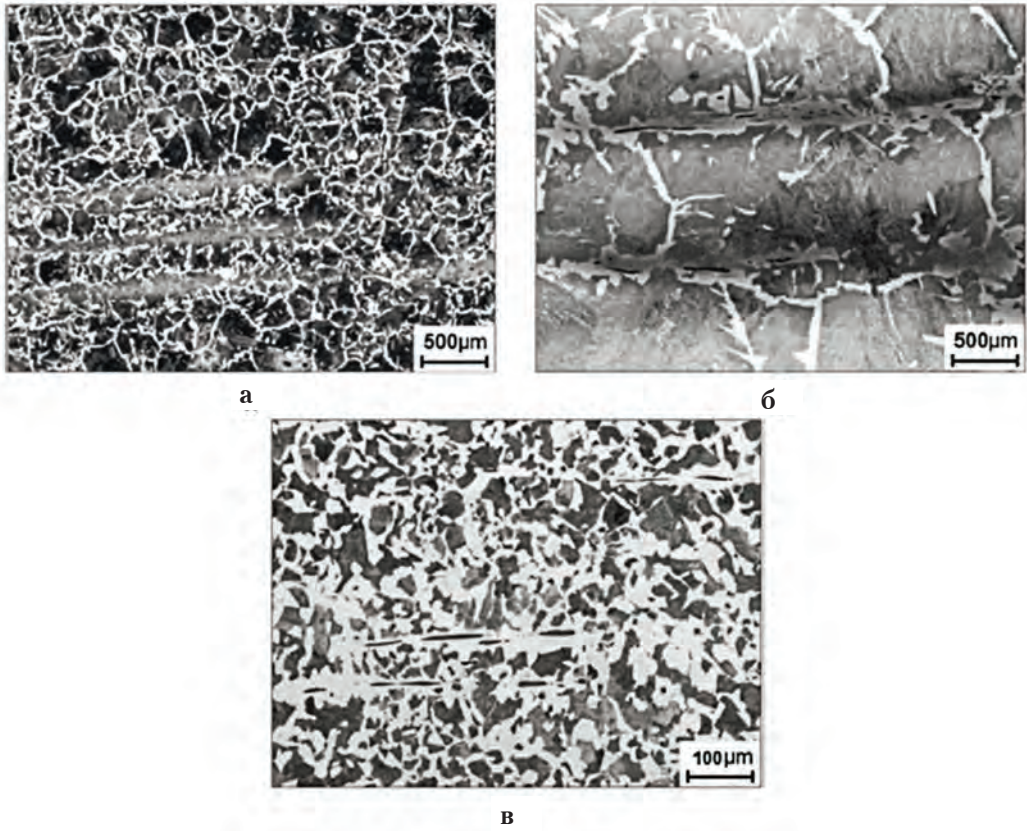


Рис. 2. Мікроструктура трубних заготовок зі сталі марки 45, коефіцієнт витяжки 4,27. а – гарячекатаний стан, травлення ніталем; б – гарячекатаний стан, травлення пікратом натрію; в – після проведення нормалізації, травлення ніталем.

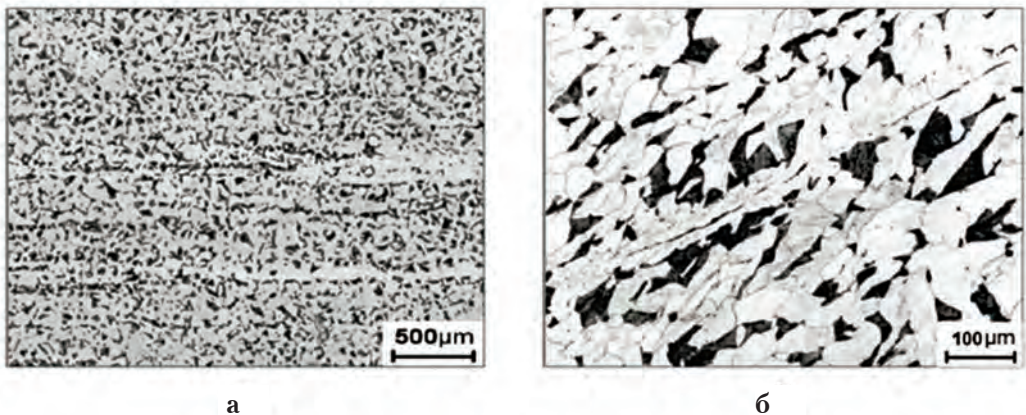


Рис. 3. Мікроструктура трубних заготовок, сталь марки 20, коефіцієнт витяжки 11,85.

У цих заготовках, виготовлених зі сталі 20 з невеликим обтискуванням, характер структурної нерівномірності дещо інший. Спостерігається ферито-перлітна неоднорідність, яка повторює контури і голчасту будову колишніх зерен аустеніту (рис. 4, б). У цих зразках, незважаючи на видиме подрібнення ферито-перлітних зерен, спостерігається грубозернистий злам [5].

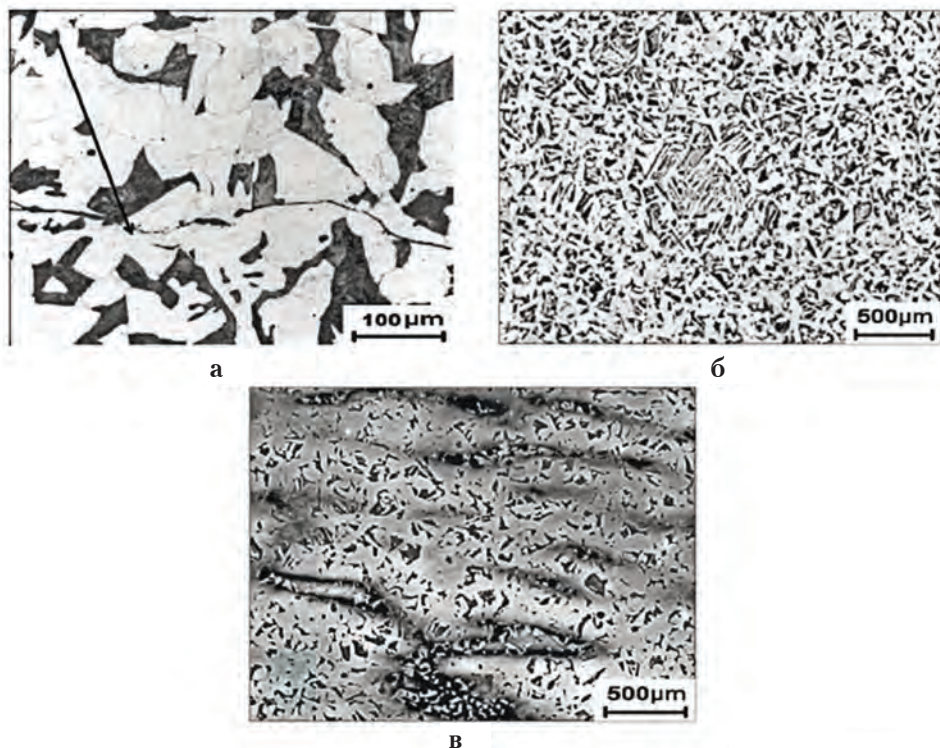


Рис. 4. Мікроструктура трубних заготовок із сталі 20, коефіцієнт витяжки 2,34, а, б – протравлені ніталем, в – пікратом натрію.

Подальше травлення в пікраті натрію на ліквідаційну неоднорідність зразків трубної заготівлі із сталі 20 не виявило зв'язку орієнтованих зерен з дендритною ліквідацією (рис. 4, в).

Для дослідження впливу структурної спадковості і пророблюваності металу на комплекс механічних властивостей трубних заготовок були проаналізовані дані по механічним властивостям зразків трубних заготовок понад вісімсот плавів з марок сталей 20, 45, LF2 і 09Г2С.

Згідно з вимогами існуючої нормативно технічної документації при здавальних випробуваннях механічних властивостей трубних заготовок, зразки з неї піддають нормалізації (нагрів до певної температури для кожної марки, витримка і охолодження на повітрі), таким чином легко контролювати вплив гарячої пластичної деформації без урахування масштабного чинника при охолодженні заготовок.

Основна відмінність марок сталей – у вмісті вуглецю, сталь 09Г2С, хоча і низьковуглецева, проте за своєю природою та за рахунок вмісту марганцю і кремнію, має більш високу схильність до ліквідації [9]. Сталь LF2 хоч і вважається зарубіжним аналогом сталі 09Г2С, проте містить меншу кількість кремнію і вуглець на рівні сталі марки 20.

Визначено, що в сталях марок 45 і 09Г2С помітний зв'язок пророблення структури з міцностними характеристиками нормалізованих катаних заготовок (рис. 5). Особливо різниця помітна на прикладі сталі марки 45. Чим вище коефіцієнт витяжки, тим вище границя міцності зразків. Ця закономірність проявляється більше інтенсивно при зниженні ступеню деформації металу. Спостерігається виразний зв'язок між формуванням неоднорідної структури і кінцевими властивостями сталі марки 45. З іншими механічними характеристиками статистично значимої залежності не виявлено.

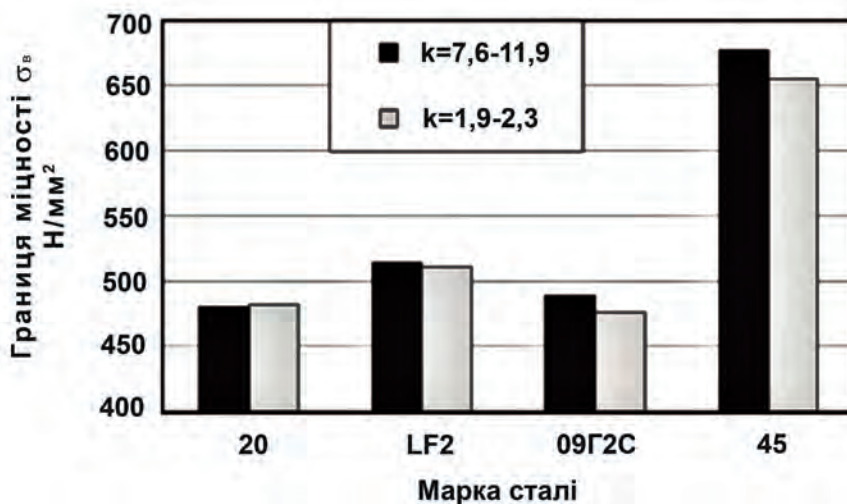


Рис. 5. Середні значення механічних властивостей по групам значень коефіцієнта витяжки (k) трубних заготовок.

При нижчій мірі легованості сталі спадковий вплив хімічної неоднорідності зменшується, і різниця характеристик міцності сильно і слабо деформованого прокату прагне до нуля. Так в сталях 20 і LF2 зміна значень міцності залежно від міри пророблюваності структури, практично не спостерігається.

Виявлені відмінності свідчать про вплив первинної структури, сформованої в процесі кристалізації дендритів аустеніту та ступеня пророблюваності структури вуглецевої сталі на особливості успадкування та формування кінцевої структури і міцності гарячекатаного прокату.

Література

1. Кондратюк С. Є. Структуроутворення, спадковість і властивості литої сталі. – К.: Наукова думка, 2010. – 177 с.
2. Ершов Г.С., Поздняк Л.А. Структурообразование и формирование свойств сталей и сплавов. – К.: Наукова думка, 1993. – 376 с.

3. Голиков И.Н., Масленков С. Б. Дендритная ликвация в сталях и сплавах. – М.: Металлургия, 1977. – 224 с.
4. Садовский В. Д. Структурная наследственность в стали. – М.: Металлургия, 1973. – 208 с.
5. Дьяченко С.С. Наследственность при фазовых превращениях: механизм явления и влияние на свойства // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2000. – № 4. – С. 14-19.
6. Левченко Г. В., Грицай Т. В. Формирование структуры железнодорожных осей, изготовленных из непрерывнолитых заготовок различного сечения // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2012. – Вып. 26. – С. 218-227.
7. Беккерт М., Клемм Х. Справочник по металлографическому травлению. – М.: Металлургия, 1979. – 336 с.
8. Левченко Г.В., Борисенко А.Ю., Завгородний М.С., Мосьпан В.В. Наследственное влияние дендритной кристаллизации на структуру и свойства непрерывнолитой трубной заготовки // Сталь. – 2017. – № 1. – С. 13-18.
9. Левченко Г. В., Дьоміна К. Г., Тимофієв Г. В. Вплив вуглецю на особливості перитектичної кристалізації та дендритну структуру безперервнолитих заготовок зі сталі 09Г2С // Металознавство та обробка металів. – 2012. – № 2. – С. 20-27.

References

1. Kondratyuk S.Ye. *Strukturoutvoorennia, spadkovist i vlastyvosti lytoi stali* [Structure, heredity and properties of cast steel], Kyiv: Naukova dumka, 2010, 177 p. [in Ukrainian].
2. Ershov H.S., Pozdniak L.A *Strukturoobrazovanye y formyrovanye svojstv stalej y splavov* [Structuring and formation of the properties of steels and alloys], Kyiv: Naukova dumka, 1993, 376 p. [in Russian].
3. Holykov Y.N., Maslenkov S. B. *Dendrytnaia lykvatsyia v staliakh y splavakh* [Dendritic segregation in steels and alloys], Moscow: Metallurhyia, 1977, 224 p. [in Russian].
4. Sadovskij V.D. *Strukturalnaja nasledstvennost v stali* [Structural inheritance in steel]. Moscow: Metallurhyia, 1973, 208p. [in Russian].
5. Diachenko S.S., *Metallovedenye y termicheskaia obrabotka metallov*, 2000, No 4, pp. 14-19 [in Russian].
6. Levchenko H.V., Grytsaj T.V., *Fundamentalnye y prykladnye problemy chernoj metallurhyy*, 2012, Vol. 26, pp. 218-227 [in Russian].
7. Bekkert M., Klemm Kh. *Spravochnyk po metallohrافycheskomu travleniyu* [Reference for metallographic etching]. Moscow: Metallurhyia, 1979, 336 p. [in Russian].
8. Levchenko H.V., Borysenko A.Yu., Zavorodnyj M.S., Mospan V.V., *Stal*, 2017, No. 1, pp. 13-18[in Russian].
9. Levchenko H.V., Domina K.H., Tymofiiev H.V. *Metaloznnavstvo ta obrobka metaliv*, 2012, No. 2, pp. 20-27 [in Ukrainian].

Одержано 10.02.20

T. V. Balakhanova, H. V. Levchenko, A. Yu. Borysenko

The structural heredity demonstration and its effect on the properties of hot-rolled tubing stocks of various diameters

Summary

The number of redistributions decreasing tendency in the production of rolled products, with all the positive economic effect, leads to the fact that the metal is subjected to a less intense deformation effect at low temperatures. In other words, the hereditary influence of the morphological features of the primary crystallization structure associated with the distribution concentration inhomogeneity of the segregating elements during crystallization (austenite and ferrite stabilizers) will be significantly higher. An analysis of the features of the final structure hereditary formation and the properties of tubing stocks obtained from continuously-cast steels of grades 45 and 20 was carried out. Two different etching solutions were used in the work. The combined approach in revealing the structure allows correlating the location nature of the final ferrite-pearlite and primary dendritic structure. It was established that when applying high degrees of tubing stocks reduction, ferrite-pearlite inhomogeneity, which is formed in rolled products from carbon steel, is due to the predominant formation of ferrite in lakes around sulfide inclusions. It is determined that finer pearlite grain is formed with a slight deformation of 45 grade steel in areas corresponding to the former interdendritic spaces. The greatest structural inhomogeneity of the finer grain is observed in the places of growth (jointing) of second and third orders dendritic branches. Also, with a slight deformation of 45 grade steel, there is no connection between the formation of the final structure with non-metallic inclusions. It has been shown that in continuously-cast stocks with developed dendritic and zonal segregation, structural features are preserved in normal rolled products and affect the strength of steel.

Keywords: structurization, tubular billet, segregation, mechanical properties.