

УДК 621.774

**ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛУЖЕНОЙ ЖЕСТИ****В.А. ДЬЯКОНОВ***(ООО «ММПЗ-групп», Миоры),**канд. техн. наук, доц. С.В. ПИЛИПЕНКО, канд. техн. наук, доц. О.П. ШТЕМПЕЛЬ**(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)*

*Рассмотрено влияние деформации на механические свойства характерных слоев жести при прошивке в ней сквозного отверстия. Получены графические зависимости, показывающие изменение микротвердости наружных и внутренних слоев луженой жести по толщине материала листа в зависимости от угла его изгиба. Изучена целостность наружного луженого слоя белой жести в готовом изделии. Установлено, что целостность покрытия сохраняется вплоть до места пластического разрыва прошивнем прессы центральной части заготовки. Анализ распределения значений микротвердости показал, что внутренний слой имеет более высокие значения, чем наружные, максимальное значение степени наклепа наблюдается в наружном слое (+17,1%). При значениях угла изгиба более 150° значения степени наклепа во всех слоях стремятся к одному значению (примерно 12,75%). Согласно анализу графика изменений степени наклепа слоев листа вдоль линии изгиба образца, степень наклепа срединного слоя происходит при любом изменении формы листового материала независимо от степени наклепа наружных слоев.*

**Ключевые слова:** *листовой прокат, жесьть луженная, холодная деформация, листовая штамповка, профиль, угол изгиба по радиусу, микротвердость.*

**Введение.** Мировые тенденции показывают постоянный рост спроса на прокатную продукцию, в т.ч. в виде жести и проката с покрытиями [1–3]. Например, только по российскому рынку с 2005 г. в 2021 г. спрос на данную продукцию, несмотря на пандемию, увеличился более чем 2 раза [1; 2]. Такой вид проката используется в качестве заготовки для производства разного вида изделий во многих отраслях промышленности, строительстве и др. [4; 5]. Вопросы, связанные с развитием теории и технологии холодной листовой прокатки, всегда актуальны, и их решению посвящено много научных трудов<sup>1</sup> [3; 6].

На Миорском металлопрокатном заводе в начале 2020 г. пущена в строй линия производства белой луженой жести (по ГОСТ 13345-85, ГОСТ Р 52204-2004, EN 10202:2001, ASTM A 623/98, JISG 3303)<sup>2,3</sup>. Кроме белой жести (в рулонах) завод имеет возможность изготавливать черную жесьть с разными видами отделки (EN 10205:2017), холоднокатаные листы в сортаменте и др. Вся продукция производится в широком сортаменте сталей типа TS 245, TS 550, TS 260, TS 290, TS 275, DC01-05, 08Ю, 08пс, 08кп и др. Данная линия позволяет прокатывать листовой металл с толщиной до 0,15 мм и менее (до 0,09 мм). Заготовкой служит горячекатаная протравленная отожженная полоса в рулонах.

Основной технологической линией являются два стана холодной прокатки полос со смоткой–размоткой в рулоны. Первым по линии установлен шестивалковый реверсивный стан RCM-1250 (рисунок 1, поз. 4). Вторым – непрерывный прокатно-дрессировочный стан DSR-1250 (рисунок 1, поз. 8, 9). Данный стан состоит из первой обжимной клетки (рисунок 1, поз. 8) и второй дрессировочной клетки (рисунок 1, поз. 9), объединенных в непрерывную группу (обе клетки кварто). Прокатка на стане DSR-1250 может осуществляться с натяжением.

Протравленные отожженные рулоны полос толщиной 2 мм поступают на склад заготовки (рисунок 1, поз. 1) и после ряда предварительных операций (контроль качества и пр.) загружаются на реверсивный шестивалковый стан DSR-1250. На этом стане полоса со смоткой с рулона на рулон прокатывается в несколько проходов до нужной передельной толщины. Далее рулоны передаются на линию электролитической очистки (рисунок 1, поз. 6), где происходит удаление смазки, загрязнений и пр. После этого рулоны поступают в термоотдел. В термоотделе установлен ряд колпаковых печей с защитной атмосферой (рисунок 1, поз. 7), в которых и происходит отжиг рулонов с передельной полосой. После отжига рулоны поступают на прокатно-дрессировочный стан DSR-1250 (рисунок 1, поз. 8 и 9), на котором прокатываются с натяжением до готового размера. Луженное покрытие на полосу наносится на непрерывной линии электролитического лужения

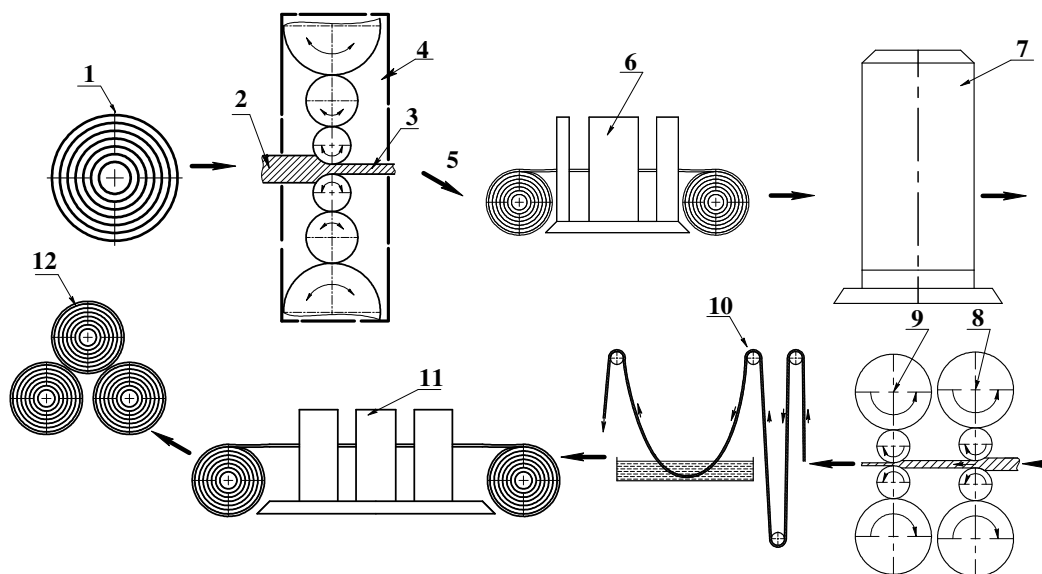
<sup>1</sup> Kozhevnikov, A.V. The Development and Application of Methodologies for the Design of Technological Modes of Cold Rolling / A.V. Kozhevnikov // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, 4th International Scientific and Technical Conference on Scientific and Technical Progress in Ferrous Metallurgy (SATPIFM-2019), Cherepovets, 18–20 September 2019, Russian Federation. – Vol. 718. – P. 1–5. DOI: 10.1088/1757-899X/718/1/012007/

<sup>2</sup> Miory Steel [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.mmpz.by/kompaniya/o-nas/>.

<sup>3</sup> Proizvodstvo [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.mmpz.by/kompaniya/proizvodstvo/>.

(рисунок 1, поз. 10). После нее рулоны поступают на резку и упаковку на отдельную линию (рисунок 1, поз. 11). Упакованные рулоны поступают на склад сбыта (рисунок 1, поз. 12).

На данном агрегате прокатана жесь толщиной 0,09 мм (около 0,105 мм после лужения). Данная жесь имеет характерную слоистую структуру с разными мехсвойствами (из-за дрессировки; рисунок 1, поз. 9). Данный листовой материал предназначен для производства упаковки в виде банок и прочих емкостей небольшого размера, которые используются для хранения и транспортировки пищевых и непищевых продуктов. Таким образом, данная жесь подвергается дальнейшему переделу, в основном листовой штамповкой. В ходе листовой штамповки изменяются механические свойства жести. Разные слои по толщине данной листовой продукции имеют несколько отличные друг от друга свойства, поэтому изменение механических характеристик данных слоев будет различно.



1, 2 – заготовка горячекатаная (полоса толщиной около 2 мм); 3 – переделная полосовая сталь, смываемая в рулоны; 4 – реверсивный стан холодной тонколистовой прокатки RCM-1250 (шестивалковый, одноклетьевого); 5 – направление передачи рулонов вдоль технологической линии; 6 – электролитическая очистка; 7 – отжиг рулонов в защитной атмосфере (в колпаковых печах); 8, 9 – непрерывная группа клеток стана DSR-1250 (обе клетки кварто); 10 – непрерывная линия электролитического лужения; 11 – линия резки и упаковки; 12 – склад готовой продукции, сбыт

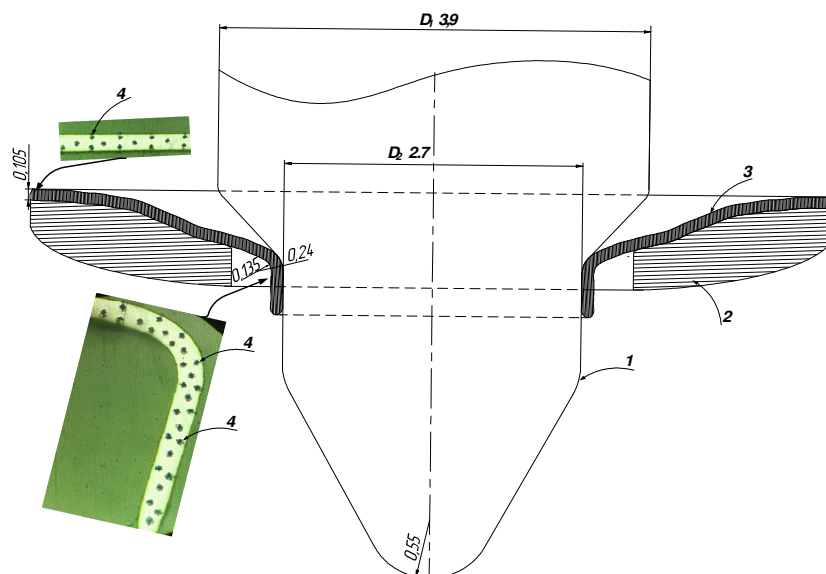
Рисунок 1. – Схема технологии производства белой жести на Миорском металлпрокатном заводе

Цель данной работы – определение влияния деформации на механические свойства характерных слоев жести в ходе прошивки в ней сквозного отверстия, установлении распределения микротвердости в наружных и внутренних слоях по толщине материала листа от угла его изгиба, а также изучение целостности наружного луженного слоя белой жести в готовом изделии.

**Методология.** Для исследования отбирались образцы из полос луженой жести из углеродистой стали TS 435 (аналог стали 08пс, ГОСТ 1050) толщиной 0,09 мм (0,105 мм после лужения). Из данного образца были вырезаны заготовки для сплошной прошивки, а также полоски для измерения микротвердости неподверженного пластической деформации металла. Далее смазанные образцы (Солидол Ж, ГОСТ 1033-79) круглой формы подвергались сплошной прошивке в ручном прессе (рисунок 2).

После прошивки отверстие принимало характерную форму с несколькими закруглениями, наименьшее из которых имеет радиус изгиба по наружной поверхности 0,24 мм, по внутренней – 0,135 мм (рисунок 3).

Перед прошивкой центральное отверстие в заготовках не выполнялось (например, методом пробивки или сверлением). Металл центральной части заготовки разрывался прошивным прессом. Скорость деформации не регистрировалась. В качестве смазочного материала применялся солидол. Прошитые заготовки вымывались и разрезались по центру отверстия. Затем разрезанные прошитые образцы вместе с полосками недеформированного материала помещались в специально изготовленные для этого обечайки и заливались эпоксидной смолой. После затвердевания смолы производилось несколько этапов шлифовки и полировки подготавливаемых образцов. Шлифовка и полировка образцов производилась на полировальной станции Presi Mecapol P262. Далее поверхность образцов обрабатывалась травителем Nital для проявления микроструктуры. Микроструктура исследовалась на микроскопе Nikon Epiaphot 200 (максимальное увеличение до 1000 раз).



1 – прошивень; 2 – матрица; 3 – образец; 4 – места уколов при измерении микротвердости

Рисунок 2. – Схема прошивки отверстия в круглой заготовке из листа белой жести толщиной 0,105 мм (0,09 мм – до лужения), произведенной Миорском металлопрокатом (сталь TS 435, аналог стали 08пс, ГОСТ 1050)

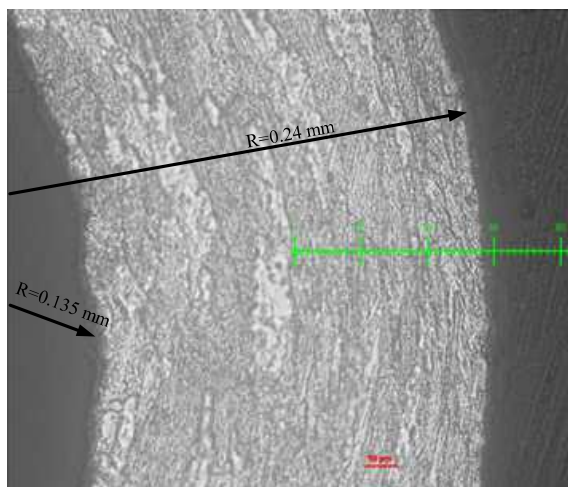


Рисунок 3. – Микроструктура луженой жести толщиной 0,105 мм после прошивки отверстия в заготовке (толщина до лужения – 0,09 мм, сталь TS 435, аналог стали 08пс, ГОСТ 1050, увеличение  $\times 500$ )

**Анализ результатов исследований.** Сразу следует подчеркнуть обнаруженное высокое качество нанесенного тонкого слоя (толщиной около 7 мкм) олова на стальной тонкий лист толщиной  $\approx 90$  мкм. На исследованных микрошлифах при различных увеличениях ( $\times 100$ ,  $\times 200$ ,  $\times 500$ ,  $\times 1000$  крат) не обнаружено ни расслоений, ни микрорастрескивания луженого слоя даже в месте наименьшего радиуса изгиба, а значит, в месте действия наибольших по значению напряжений на приповерхностных слоях изгибаемого материала. Внутренние, по отношению к радиусу изгиба, слои жести находились под воздействием сжимающих напряжений, вследствие чего образовались естественные для такого случая складки. Однако этот процесс не привел к нарушению целостности поверхностного слоя.

Отмечено, что целостность покрытия сохранялась вплоть до места пластического разрыва прошивнем прессы центральной части заготовки (рисунок 4).

Для изучения изменения микротвердости выбран описанный выше участок с минимальным радиусом изгиба как получивший наибольшую степень деформации. На рисунке 5 показана схема замеров микротвердости листа по обозначенным участкам в месте изгиба. Микротвердость измерялась вдоль внутреннего (по отношению к радиусу гибки) (рисунок 5, слой 3), вдоль наружного (рисунок 5, слой 2) и срединного слоев (рисунок 5, слой 1). Измерение микротвердости производилось на материале листа, а не на луженном слое.

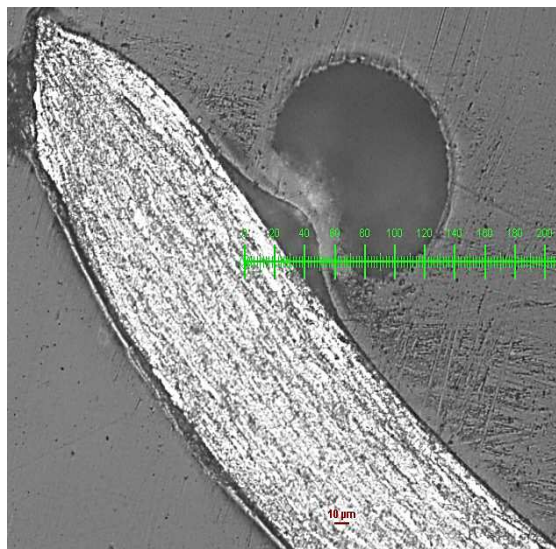
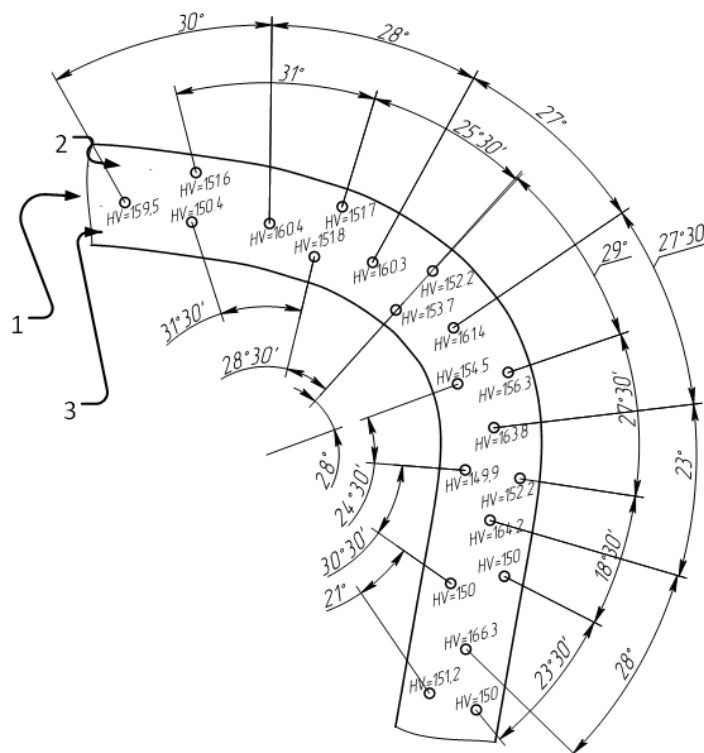


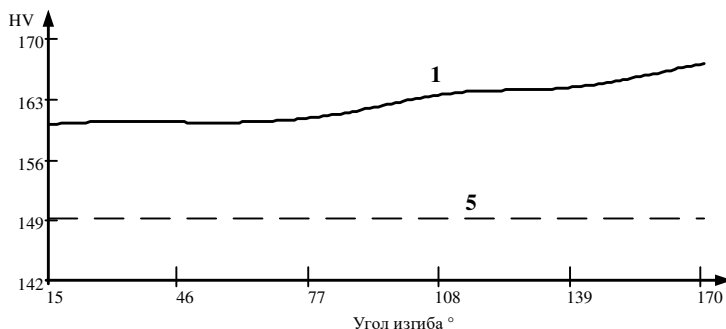
Рисунок 4. – Микроструктура листа в месте пластического разрыва центральной части заготовки прошивнем пресса (белая жесь толщиной 0,105 мм (0,09 мм до лужения), сталь TS 435, аналог стали 08пс, ГОСТ 1050, увеличение ×200)



1 – срединный слой листа; 2 – наружный слой листа (относительно радиуса изгиба);  
3 – внутренний слой листа (относительно радиуса изгиба)

Рисунок 5. – Схема замеров микротвердости наружных и внутреннего слоев листа по линии изгиба (белая жесь толщиной 0,105 мм (0,09 мм до лужения), сталь TS 435, аналог стали 08пс, ГОСТ 1050)

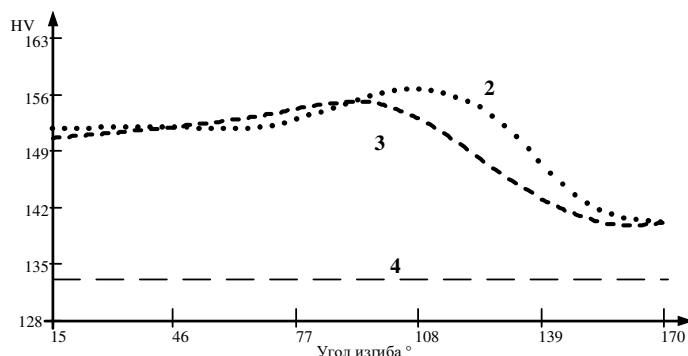
Измерения микротвердости недеформированных образцов показали, что среднее значение величины твердости срединного слоя листа составляет 149,1 HV, наружных – 133,5 HV. Как видно из графика (рисунок 6, кривая 1), микротвердость срединного слоя листа увеличилась вдоль всего периметра изгиба с 159,5 до 165,5 HV. На графике в центральных областях периметра изгиба наблюдается небольшой всплеск роста значений микротвердости. В остальных частях графика значения HV среднего слоя возрастали практически прямолинейно. Рост значений HV в сравнении с микротвердостью недеформированных образцов (рисунок 6, линия 5) составил от 7,5% в начале графика до 12,6% в конце.



1 – микротвердость срединного слоя в месте изгиба;  
5 – средняя микротвердость срединного слоя недеформированного образца (149,1 HV)

**Рисунок 6. – График изменение микротвердости срединного слоя листа вдоль периметра изгиба (белая жель толщиной 0,105 мм (0,09 мм – до лужения), сталь TS 435, аналог стали 08пс, ГОСТ 1050)**

Исследование микротвердости наружного (рисунок 7, кривая 2) и внутреннего (рисунок 7, кривая 3) слоев относительно радиуса изгиба листа показали несколько другую картину изменения значений HV. Твердость листа увеличивалась вплоть до центральных областей линии изгиба. Далее, после достижения определенного значения, график HV падает примерно до одинакового значения для наружного и внутреннего слоев. Максимальное значение микротвердости: 156,3 HV для наружного слоя и 154,5 HV – для внутреннего. Данные значения зарегистрированы ближе к центру линии изгиба. В начале и конце линий изгиба твердость наружного слоя составила 151,6 HV, внутреннего – 150,4. На выходе оба графика стремятся к значению в 150,5 HV. Таким образом, можно предположить, что все изменения микротвердости вызваны деформационным процессом.



2 – слой 2 (снаружи изгиба); 3 – слой 3 (внутри изгиба);  
4 – средняя микротвердость наружных слоев недеформированного образца (133,5 HV)

**Рисунок 7. – График изменения микротвердости внутреннего и наружного слоев листа вдоль линии изгиба (белая жель толщиной 0,105 мм (0,09 мм – до лужения), сталь TS 435, аналог стали 08пс, ГОСТ 1050)**

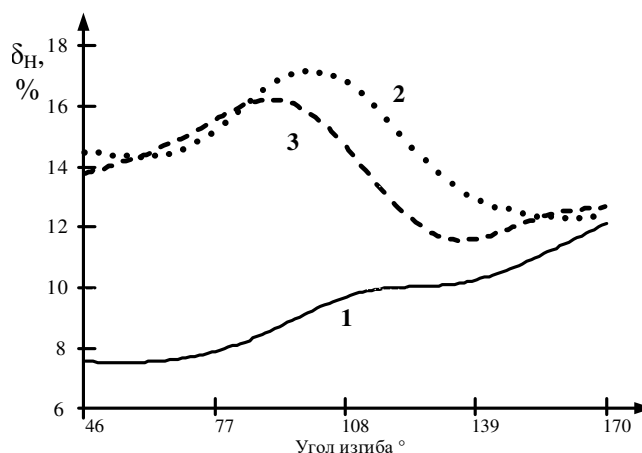
На рисунке 8 показаны графики изменений относительных значений микротвердости слоев листа вдоль линии изгиба в сравнении с микротвердостью недеформированного образца. Значения степени наклепа  $\delta_n$  в контрольных сечениях определялись по формуле

$$\delta_n = \frac{HV_i - HV_N}{HV_N} 100\% ,$$

где  $HV_i$  – текущее значение микротвердости в  $i$ -том контрольном сечении;  $HV_N$  – средняя микротвердость соответствующего слоя недеформированного образца.

Из графиков видно (рисунок 8), что наибольшие значения наклепа наблюдаются в наружных слоях листа, наименьшие – в срединных. При значениях угла изгиба  $150^\circ$  и более все значения  $\delta_n$  стремятся к одной величине (примерно 12,75%), но величины  $\delta_n$  срединного слоя возрастают (рисунок 8, линия 1), наружного – падают к этому значению (рисунок 8, линия 2), а внутреннего – выходят на него с колебаниями (рисунок 8, линия 3). Однако абсолютные значения микротвердости при этом принимают различные значения. Наибольшая степень наклепа наблюдается в наружном слое (+17,1% ближе к значениям угла изгиба в  $100...110^\circ$ ). Максимальные зна-

чения изменения твердости внутреннего слоя наблюдаются в срединных слоях (+16,2%). Наибольшее упрочнение получили наружный и внутренний слой листа относительно линии его изгиба.



1 – срединный слой; 2 – слой снаружи изгиба; 3 – слой внутри изгиба

Рисунок 8. – График изменений степени наклепа слоев листа вдоль линии изгиба образца (белая жечь толщиной 0,105 мм (0,09 мм до лужения), сталь TS 435, аналог стали 08пс ГОСТ 1050, увеличение ×200)

**Заключение.** Анализ результатов исследований показывает:

1. Целостность покрытия сохранялась вплоть до места пластического разрыва прошивнем прессы центральной части заготовки, что обозначает высокое качество нанесенного тонкого слоя (толщиной около 7 мкм) олова на стальной тонкий лист толщиной ≈90 мкм.

2. В ходе анализа микротвердости обнаружено наличие характерных для жести слоев. В данном случае внутренний слой имеет более высокие значения микротвердости, чем приграничные к поверхностным.

3. Пик значений изменения твердости внутреннего и наружного (по отношению к радиусу изгиба) слоев наблюдаются в срединных областях выбранного изгиба с минимальным радиусом. Максимальное значение степени наклепа наблюдается в наружном слое (+17,1%). При значениях угла изгиба 150° и более значения степени наклепа во всех слоях стремятся к одному значению (примерно 12,75%).

4. Срединный слой жести, выбранный вдоль линии изгиба, получил наименьшее изменение значений  $\delta_n$ . Но график  $\delta_n$  срединного слоя непрерывно возрастает вдоль всей линии изгиба. Увеличивались и значения микротвердости этого слоя, тогда как график значений приповерхностных слоев имеет пик в центре линии изгиба с минимальными значениями HV (и  $\delta_n$ ) на минимальных и максимальных значениях угла изгиба. Из этого следует, что степень наклепа срединного слоя происходит при любом изменении формы листового материала независимо от степени наклепа наружных слоев. Установленный характер изменения микротвердости слоев белой жести требует дополнительных исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зиновьев, А.В. Российская металлургия – настоящее и будущее / А.В. Зиновьев, В.А. Трусов. // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2008. – № 1. – С. 151–159.
2. Зиновьева, Н.Г. Черная металлургия мира и России в условиях пандемии / А.В. Зиновьев // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. – 2022. – Т. 76, № 7. – С. 657–664.
3. Lenard, J.G. *Primer on flat rolling* / J.G. Lenard. – Hoboken : Elsevier Science, 2014. – 876 p. DOI: 10.1016/C2012-0-06474-5.
4. Samiee, P. Thermal and structural behavior of cold-formed steel frame wall under fire condition / P. Samiee, E. Niari, E. Ghandi // *Engineering Structures*. – 2021. – V. 252. – P. 113563. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113563/
5. Yun, X. Design of cold-formed steel SHS and RHS beam-columns considering the influence of steel grade / X. Yun, X. Meng, L. Gardner // *Thin-Walled Structures*. – 2022. – Vol. 171. – P. 108600. DOI: 10.1016/j.tws.2021.108600
6. Wang, D. Research and Development Trend of Shape Control for Cold Rolling Strip / D. Wang, H. Liu, J. Liu // *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. – 2017. – № 30. – P. 1248–1261. URL: <https://cjme.springeropen.com/articles/10.1007/s10033-017-0163-8>.

#### REFERENCES

1. Zinov'ev, A.V. & Trusov, V.A. (2008). Rosyyskaya metallurhiya – nastoyashchee y budushchee [Russian metallurgy – present and future]. *Novi materialy i tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni* [New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering], (1), 151–159. (In Russ., abstr. in Engl.).

2. Zinov'yeva, N.G. (2022). Chernaya metallurgiya mira i Rossii v usloviyakh pandemii [Ferrous metallurgy of the world and Russia in a pandemic]. *Chernaya metallurgiya Byulleten' nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii* [Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information], T. 76, (7), 657–664. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Lenard, J.G. (2014). *Primer on flat rolling*. Hoboken: Elsevier Science. DOI: 10.1016/C2012-0-06474-5
4. Samiee, P. Niari, E. & Ghandi, E.E. (2021). Thermal and structural behavior of cold-formed steel frame wall under fire condition. *Engineering Structures*, (252), 113563. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113563/
5. Yun, X., Meng, X. & Gardner, L. (2022). Design of cold-formed steel SHS and RHS beam-columns considering the influence of steel grade. *Thin-Walled Structures*, (171), 108600. DOI: 10.1016/j.tws.2021.108600
6. Wang, D., Liu, H. & Liu, J. (2017). Research and Development Trend of Shape Control for Cold Rolling Strip. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, (30), 1248–1261. URL: <https://cjme.springeropen.com/articles/10.1007/s10033-017-0163-8>.

Поступила 01.08.2022

## INFLUENCE OF DEFORMATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF TIN-PLATED TIN

V. D'YAKONOV, S. PILIPENKO, O. SHTEMPEL'

*Annotation. The influence of deformation on the mechanical properties of the characteristic layers of tin plate when a through hole is pierced in it is considered. Graphic dependences are obtained showing the change in the microhardness of the outer and inner layers of tinned tin along the thickness of the sheet material depending on the angle of its bending, the integrity of the outer tinned layer of tinplate in the finished product is studied. It has been established that the integrity of the coating is preserved up to the point of plastic rupture by the piercing of the press in the central part of the workpiece. An analysis of the distribution of microhardness values showed that the inner layer has higher values than the outer ones, the maximum value of the hardening degree is observed in the outer layer (+17,1%). At values of the bending angle of more than 150 degrees, the values of the degree of hardening in all layers tend to the same value (approximately 12,75%). Analysis of the graph of changes in the degree of hardening of the sheet layers along the bending line of the sample showed that the degree of hardening of the middle layer occurs with any change in the shape of the sheet material, regardless of the degree of hardening of the outer layers.*

**Keywords:** sheet metal, tin plate, cold deformation, sheet stamping, profile, radius bending angle, microhardness.