

деформированного состояния по периметру заготовки, обеспечивающий заданную конфигурацию калибром. Установлено, что наиболее нагруженным участком ГПЗС, является угловая зона. Разработанная методика трехмерного математического моделирования гнутых профилей замкнутого сечения внедрена на ООО «Иприс-Профиль» и обеспечивает точное выполнение размеров профилей.

Список литературы: 1 Плеснецов Ю. А. Анализ современного состояния производства и применения профильных труб / Ю. А. Плеснецов, А. С. Забара // Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер. : Галузеве машинобудування, будівництво . – 2013. – Вип. 2. 2 Илюшкин М.В. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе Ansys/Ls-dyna. Учебное пособие / М.В. Илюшкин – Ульяновск: УлГУ, 2013 – 112 с. 3 Данченко В.Н. Разработка технологической схемы производства прямоугольных труб высокой точности на основе математического моделирования / В.Н. Данченко, В.В. Бояркин, Х. Дыя // Производство проката. 2005. № 2. С. 17-20. 4. Забара А.С. Моделирование процесса формообразования специальных гнутых профилей замкнутого сечения / Забара А.С., Плеснецов Ю.А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – № 46 (952). – С. 40-44. 5. Осадчий В.Я. Технология и оборудование трубного производства / Осадчий В.Я., Вавилин А.С., Зимовец В.Г., Коликов А.П. – М.: «Интернет Инжиниринг» 2001 – 608 с.

Bibliography (transliterated): 1 Plesnetsov Yu. A. Analiz sovremennogo sostoyaniya proizvodstva i primeneniya profil'nyh trub Yu. A. Plesnetsov, A. S. Zabara Zbirnik naukovih prac' [Poltavs'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu im. Yu. Kondratyuka]. Ser.: Galuzeve mashinobuduvannya, budivnictvo . – 2013. – Vip. 2. 2 Ilyushkin M.V. Modelirovanie processov obrabotki metallov davleniem v programme AnsysLs-dyna. Uchebnoe posobie M.V. Ilyushkin – Ul'yanovsk: UIGU, 2013 – 112 p. 3. Danchenko V.N. Razrabotka tehnologicheskoy shemy proizvodstva pryamougol'nyh trub vysokoy tochnosti na osnove matematicheskogo modelirovaniya V.N. Danchenko, V.V. Boyarkin, X. Dyya Proizvodstvo prokata. 2005. No 2. P. 17–20. 4. Zabara A.S. Modelirovanie processa formoobrazovaniya special'nyh gnutyh profilej zamknutogo secheniya Zabara A.S., Plesnetsov Yu.A. Visnik NTU «HPI». Seriya: Novi rishennya v suchasniy tehnologiyah. – Kharkiv: NTU «HPI». – 2012. – No 46 (952). – P. 40–44. 5. Osadchij V.Ya. Tehnologiya i oborudovanie trubnogo proizvodstva Osadchij V.Ya., Vavilin A.S., Zimovec V.G., Kolikov A.P. – Moscow: «Internet Inzhiring» 2001 – 608 p.

Надійшла (received) 09.11.2014

УДК 631.173: 631.312.021: 621.771.8

В. Г. ЗАГОРЯНСКИЙ, канд. техн. наук, доц.,
А. А. ШАПОВАЛ, канд. техн. наук, доц.,
Д. В. МОСЬПАН, канд. техн. наук, доц.,
КрНУ им. М. Остроградского, Кременчуг

К ВОПРОСУ О МИНИМИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПЛАКИРОВАННОГО ПРОКАТА

В статье уточнен известный расчетный метод (И.А. Рябцев с сотрудниками, ИЭС им. Е.О. Патона) определения деформации плакированного износостойкого проката при закалке. Рассмотрен случай композиции Ст3+У20Х6Т2Д (карбидная износостойкая сталь), применяемой в условиях абразивного изнашивания в сельскохозяйственном машиностроении. Уточнены результаты расчета прогиба биметаллических пластин. В модель расчета прогиба пластин, кроме температуры закалки, введены

дополнительные влияющие параметры. На основе этого метода разработана оптимизационная модель расчета и проведена ее программная реализация в программе Microsoft Excel.

Ключевые слова: износостойкий прокат, двухслойный лист, минимизация деформаций, термическая обработка, радиус кривизны, температура закалки, оптимизация.

Введение. Украина входит в первую десятку мировых экспортеров зерна (главным образом пшеницы и кукурузы), причем две трети экспорта в 2013 году приходилось на страны Азии и ЕС, и всего лишь немногим более 20% – на страны СНГ. Такая диверсификация структуры экспорта зерна, при условии ее сохранения, позволяет предположить, что экспорт зерна и связанной с ним продукции сельского хозяйства будет являться одной из основных статей валютных поступлений страны в ближайшей и долгосрочной перспективе. Из этого следует актуальная задача обеспечения сельского хозяйства высокопроизводительной, имеющей максимальный ресурс и экономичной техникой обработки почвы.

Рабочие органы плугов и других почвообрабатывающих орудий испытывают при работе интенсивное абразивное изнашивание и значительные статические и динамические нагрузки. Это обуславливает применение для их изготовления материалов с высокой износостойкостью и прочностью; при этом исходят из того, что при выборе материалов рабочих органов сельскохозяйственных машин из всего диапазона учитываемых основных факторов наиболее значимыми, как правило, являются прочность и износостойкость [1].

В качестве материала основы серийных рабочих органов почвообрабатывающих машин в настоящее время в Украине применяют стали 45, 65Г и Л53 (специальная лемешная сталь) [2]. После закалки ТВЧ или объемной термообработки эти стали имеют твердость 39...49 HRC, при относительно невысоких показателях прочности ($\sigma_b = 900...1100$ МПа), относительного удлинения ($\delta = 6,5...7,2$ %) и износостойкости [1, 2].

В работе [2], на основе многолетних исследований и анализа результатов хозяйственных (эксплуатационных) испытаний разных типов деталей рабочих органов также указывается, что только за первый год эксплуатации по причине излома (или деформации со следующим изломом) выходят из строя около 40% лемехов и 15% отвалов, 20% лап культиваторов и 30% разных типов дисковых рабочих органов.

Рабочие органы плуга и других почвообрабатывающих орудий по геометрической форме представляют собой плоские или криволинейные клинья [3]. Плоские клинья – лемеха, ножи, лапы культиваторов, зубья борон; криволинейные – сферические диски борон, луцильников, отвалы плугов, окучники. Форма клина характерна для сошников сеялок и сажалок.

Изнашивание рабочих органов сельскохозяйственных машин протекает в условиях динамического и статического внедрения в металл абразивных частиц, содержащихся в почве. На интенсивность абразивного изнашивания влияют состав почв, их влажность, скорость движения рабочего органа, размеры и форма абразивных частиц, содержащихся в почве, степень закрепленности этих частиц в массиве почвы [4].

Свойством самозатачивания лезвий рабочих органов при их эксплуатации обладают (и срок их службы больше, чем у обычных) биметаллические двухслойные рабочие органы, в которых прочность обеспечивает основной слой, а износостойкость – плакирующий слой, нанесенный на основной тем или иным способом [5]. Корпуса плугов с самозатачивающимися лемехами, изготовленными из двухслойной стали применяют для вспашки почв, не засоренных камнями [3]. Во время работы верхний, менее прочный слой (мягкая сталь) изнашивается быстрее, чем нижний износостойкий (легированная износостойкая сталь). Нижний слой обнажается, его кромка изнашивается сверху, поэтому острота лезвия сохраняется.

Эффект самозатачивания зависит от соотношения толщины и износостойкости основного и плакирующего слоев [6, 7]:

$$\omega = \frac{\varepsilon_2 h_2}{\varepsilon_1 h_1}, \quad (1)$$

где ε_2 , h_2 – относительная износостойкость и толщина основного слоя, ε_1 , h_1 – относительная износостойкость и толщина плакирующего слоя.

При обработке плужными лемехами большинства почв $\omega = 1,5$ [7]. Отмечается также, что при $\omega = 1,5$ обеспечивается наилучшее самозатачивание [5].

Имея в виду, что в соответствии с работами последних лет износостойкость материала нельзя оценивать только его твердостью, в связи со сложностью явления абразивного изнашивания [8], в первом приближении примем, что основным критерием абразивного или другого вида механического изнашивания стали можно считать ее твердость.

Анализ последних исследований и литературы. Выбор металла износостойкого плакирующего слоя в многослойном прокате определяется условиями эксплуатации сельскохозяйственного агрегата. Выбор марки стали основного и плакирующего слоев для самозатачивающихся биметаллов определяется соотношением их износостойкости, что вызывает необходимость использовать для плакировки высокоуглеродистые стали, содержащие 1,4...2% углерода, 5...6% хрома и добавки легирующих элементов [9]. Типичные сочетания композиций этой группы: Л53+Х6Ф1 (ГОСТ 15891-70* «Сталь

горячекатаная двухслойная фасонная полосовая для лемехов. Технические условия»), Ст3+Х6Ф1. Нашло применение также сочетание Ст3+сталь У20Х6Т2Д (ДИ-54) (содержание углерода – 2%, хрома – 6%, титана – 2%, меди – 0,6%).

Сталь У20Х6Т2Д относится к сталям карбидного класса; обладает высокой износостойкостью благодаря большому количеству комплексных карбидов, вкрапленных в вязкую и прочную матрицу [9].

Технология получения износостойкой лемешной ленты с местным плакированием сталью У20Х6Т2Д путем прокатки несимметричного пакета предложена в работах [10, 11], конструкция заготовки-пакета для прокатки фасонного профиля с местным плакированием (вставкой из стали У20Х6Т2Д) приведена в работе [11].

Как отмечается в работах [5, 7], данная технология опробована при производстве двухслойного профиля для лемехов плугов общего назначения (Л53+У20Х6Т2Д) и лемехов культиваторов-плоскорезов (сталь 45+У20Х6Т2Д). Биметаллические лемехи с рабочим слоем из стали У20Х6Т2Д, в которых биметалл получен прокаткой, успешно прошли полевые испытания; удельный расход лемехов со сталью У20Х6Т2Д соответствует удельным расходам лемехов из стали 65Г или 60С2, закаленных по лезвию и носку током высокой частоты [2].

Отмечается [5], что промышленное использование данной технологии сдерживается отсутствием проката из стали У20Х6Т2Д, а также необходимого профиля из стали 45 и связанной с этим необходимостью фрезерования паза, который существенно увеличивает трудоемкость способа и затраты материалов.

Высокая износостойкость стали У20Х6Т2Д в двухслойном прокате приобретает после закалки; при этом увеличение содержания остаточного аустенита в структуре и соответствующее искажение проектируемой формы изделия при повышении температуры закалки ограничивает диапазон температур закалки изделий из двухслойного проката значениями 950...1050 °С [7, 10, 12].

На основе положений теплофизики для износостойкого биметаллического проката предложены [12, 10] зависимости для определения радиуса кривизны биметаллической полосы при закалке и соответствующего ему прогиба биметаллической полосы. В выводах к работе [12] (а также в работе [10]) утверждается, что при закалке износостойкого плакированного проката область минимальных деформаций (изгиба) может быть определена расчетным методом по величинам коэффициентов температурного расширения

(зависящих от диапазона температур закалки) сталей слоев, составляющих биметалл. Расчет по методу, приведенному в исходных работах [12, 10] и последующих монографиях [13] показывает некоторую некорректность результатов. Кроме того, на наш взгляд, эту задачу можно также представить в виде оптимизационной модели.

Цель исследования, постановка проблемы. Цель работы – разработка оптимизационной модели, позволяющей минимизировать кривизну износостойкого биметаллического проката при его термической обработке, и программная реализация этой модели.

Материалы исследований. Термическая обработка биметаллического проката вызывает его прогиб. Деформация при нагреве и охлаждении биметаллического проката, который составляют металлы с разными температурными коэффициентами линейного расширения, подчиняется характеру деформации при нагреве и охлаждении термобиметаллов. Закономерность деформации термобиметаллов состоит в том [14], что при нагреве в активном слое (слой с большим температурным коэффициентом линейного расширения) действуют сжимающие напряжения, и он располагается с выпуклой стороны, а пассивный слой (слой с меньшим температурным коэффициентом линейного расширения) – с вогнутой стороны. При охлаждении термобиметаллическая полоса изгибается в противоположную сторону. То есть, при нагреве полоса изгибается концами внутрь в сторону слоя с меньшим температурным коэффициентом линейного расширения.

Если в термобиметаллах используется упругая деформация биметалла, то при термообработке биметаллических листов или полос уровень температурных напряжений может привести к пластической деформации биметаллических листов или полос.

Это необходимо учитывать при выборе режима термической обработки, так как изгиб биметаллических полос и листов при нагреве и охлаждении затрудняет проведение некоторых технологических операций (задачу в валки прокатного стана, транспортировку и др.), что вызывает необходимость правки металла и применения специальной оснастки [15].

Деформация (изгиб) листового биметаллического проката при нагреве и охлаждении при термообработке определяется из следующих положений. При нагревании при термической обработке детали из двухслойного проката относительные удлинения основного и плакирующего слоев на поверхности стыка должны быть одинаковы [12]

$$\alpha_n \Delta T - \frac{P}{E h_n b} - \frac{h_n}{2r} = \alpha_0 \Delta T + \frac{P}{E (h - h_n) b} + \frac{h - h_n}{2r}, \quad (2)$$

где α_0 и α_n – средние значения коэффициентов термического расширения металла основного и плакирующего слоев соответственно в диапазоне температур ΔT от температуры заковки $T_{\text{зак}}$ до комнатной T_n ; r – радиус кривизны биметаллической пластины по нейтральной оси; h – общая толщина биметаллической пластины; h_n – толщина плакирующего слоя (введем для дальнейших расчетов отношение $\gamma = h_n/h$); b – ширина биметаллической пластины; E – модуль упругости (принимая, что $E = E_n = E_0$, где E_n, E_0 – модули упругости металлов слоев); P – результирующее усилие, действующее в двухслойном пакете при нагревании:

$$P = \frac{2(E_n J_n + E_0 J_0)}{rh}, \quad (3)$$

где J_n, J_0 – моменты инерции плакирующего и основного слоев биметаллической пластины.

После подстановки значения P (зависимость (3)) в зависимость (2) и преобразований получается формула (предлагаемая в работах [10, 12, 13]), связывающая радиус кривизны пластины с областью температур заковки биметалла, обеспечивающих его минимальную деформацию:

$$\frac{1}{r} = \frac{6(\alpha_n - \alpha_0)\Delta T\gamma(1-\gamma)}{h} \quad (4)$$

Из формулы (4) следует [13, 15], что кривизну биметалла (и величину его прогиба), вызываемую термической обработкой, можно оценить по разности коэффициентов термического расширения плакирующего и основного слоев, соотношения толщин этих слоев и интервала ΔT температур нагрева под заковку $T_{\text{зак}}$ и нормальной T_n .

Преобразование формулы (4) дает выражение для радиуса кривизны биметаллической пластины

$$r = \frac{h}{6(\alpha_n - \alpha_0)\Delta T h_0 h_n} = \frac{h}{6(\alpha_n - \alpha_0)\Delta T\gamma(1-\gamma)}, \quad (5)$$

где h_0 – толщина основного слоя в биметаллической пластине.

Прогиб биметаллической пластины длиной l определяется с учетом зависимости (5) [12]

$$f = \frac{l^2}{8r} = \frac{0,75l^2(\alpha_n - \alpha_0)\Delta T\gamma(1-\gamma)}{h} \quad (6)$$

Отметим, что заменив дугу двумя хордами, получим выражение (6) в следующем виде (приводится в работе [16])

$$f = \frac{a^2 + 4f^2}{8r}, \quad (7)$$

где a – длина хорды.

Расчет по зависимостям (5) и (6) позволяет определить [13]:

- область температур нагрева и охлаждения при закалке, обеспечивающих минимальные деформации;
- необходимую величину предварительного деформирования биметалла, обеспечивающую получение прямого профиля – предварительный обратный выгиб, изгиб двухслойного элемента в сторону, противоположную изгибу при нагреве.

Таким образом, в соответствии с зависимостью (6), прогиб будет тем меньше, чем больше будет радиус кривизны биметаллического элемента, общая толщина биметаллической полосы, и чем меньше будет длина полосы и отношение γ .

В табл. 1 приведены коэффициенты температурного расширения для сталей 3 и У20Х6Т2Д, а также для стали У20Х6Т2Д значения твердости HRC, относительной износостойкости ε и содержания остаточного аустенита $A_{ост}$ в зависимости от температуры закалки (по графикам, приведенным в работах [10, 12]). Отметим, что закалка с более высоких температур нецелесообразна, так как перегревается сталь основного слоя [12].

Таблица 1. Значения параметров в зависимости от температуры закалки [10, 12]

Параметр	Температура, °С			
	900	950	1000	1050
α_o (Ст3), $\times 10^{-6}$, град $^{-1}$	-	15	15	13,3
$\alpha_{п}$ (У20Х6Т2Д), $\times 10^{-6}$, град $^{-1}$	-	13	16	15,6
$A_{ост}$, %	~0	10	35	60
HRC	63	62	59	49
ε	4,5	4,8	4,4	4,4

Отметим, что правка после термообработки биметаллических деталей, изогнутых плакирующим слоем внутрь, недопустима, так как при этом может разрушиться плакирующий слой.

Таким образом, по результатам работ [10, 12] можно сделать вывод, что проблема сводится к оптимизационной задаче со следующими составляющими:

- постоянные величины: $\alpha_{п}$, α_o , h , h_o . Здесь следует уточнить, что коэффициенты термического расширения $\alpha_{п}$, α_o не являются постоянными величинами, а зависят от значений переменной задачи ΔT (принимаются их средние значения в диапазоне ΔT);
- переменная величина: ΔT ;

– система ограничений:

$$\begin{cases} \Delta T = T_{\text{зак}} - T_{\text{н}} \geq 0, \\ T_{\text{зак min}} - T_{\text{н}} = 950 \text{ } ^\circ\text{C} - 20 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq T_{\text{зак max}} - T_{\text{н}} = 1050 \text{ } ^\circ\text{C} - 20 \text{ } ^\circ\text{C}, \\ r \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

– целевая функция:

$$f = \frac{l^2}{8r} = \frac{0,75l^2 (\alpha_{\text{н}} - \alpha_0) \Delta T \gamma (1 - \gamma)}{h} \rightarrow 0 \quad (9)$$

Отметим, что расчет по формулам (5), (6) дает несколько иные значения, в том числе знаки, чем приведенные в работах [10,12]. Не приведены в работе [12] также и толщины биметаллического проката, но, судя по значениям прогиба, применялся прокат толщиной $h = 12$ мм. В таком случае, для приведенных в работах [10, 12] значениях отношения h_0/h_n 1:1, 2:1, 3:1 (что соответствует значениям $\gamma = 0,5$; 0,3333 и 0,25), толщины h_n плакирующего слоя будут соответственно 6, 4 и 3 мм.

Как показывают результаты расчетов, приведенные в табл. 2, при каждом соотношении γ минимальный прогиб соответствует температуре закалки 1000°C . Закалка с температуры нагрева 950°C неприемлема, так как знак минус при значении прогиба соответствует изгибу пластин плакирующим слоем внутрь, что делает невозможной дальнейшую правку проката.

Таблица 2. Результаты расчета радиусов кривизны и прогиба биметаллических полос

$T_{\text{зак}},$ $^\circ\text{C}$	$\Delta T,$ $^\circ\text{C}$	$\alpha_{\text{п}}, \times 10^{-6},$ град $^{-1}$	$\alpha_0, \times 10^{-6},$ град $^{-1}$	$\gamma = 0,5$		$\gamma = 0,33333$		$\gamma = 0,25$	
				$r,$ мм	$f,$ мм	$r,$ мм	$f,$ мм	$r,$ мм	$f,$ мм
950	930	13	15	-4301,1	-1,8	-4839,0	-1,6	-5734,8	-1,4
1000	980	16	15	8163,3	1,0	9184,1	0,9	10884,4	0,7
1050	1030	15,8	13,3	3106,8	2,5	3495,3	2,2	4142,4	1,9

Варьирование температур закалки для каждого значения γ с целью нахождения близкого к нулю прогиба f не дает рационального результата.

Примем рациональную длину l полосы, например, 500 мм (в работе [12] прогиб рассчитывался и измерялся на длине 250 мм), по аналогии с требованиями ГОСТ 15891-70* «Сталь горячекатаная двухслойная фасонная полосовая для лемехов. Технические условия», в соответствии с которым длина полосы должна быть кратна 560 мм.

В этом случае варьируемым параметром становится толщина биметалла h , величина которой по расчету приведена в табл. 3.

Таблица 3. Расчетные значения толщины полосы при длине $l = 500$ мм при фиксированных значениях прогиба f

Температура закалки, °С	Прогиб f , мм	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 0,3333$	$\gamma = 0,25$
1000	1	45	40	34
1050	1	120	107	90
	2	60	54	45
	3	40	36	30

На рис. приведена экранная копия рабочего листа Microsoft Excel с результатами моделирования задачи для случая прогиба $f = 2$ мм на длине $l = 500$ мм, $\Delta T = 980$ °С, $\gamma = 0,5$.

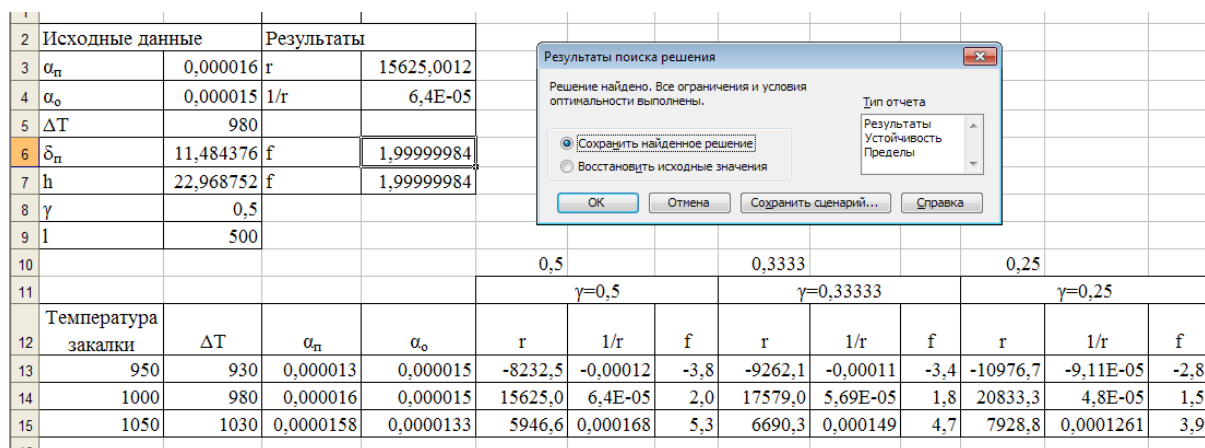


Рис. – Результаты моделирования задачи в программе Microsoft Excel

Выводы. Оптимизация параметров закалки полос износостойкого плакированного проката (Ст3+У20Х6Т2Д) для минимизации их прогиба является непростой задачей, так как следует принять рациональные длину полосы и ее толщину, являющиеся обратными параметрами, достаточно узкий диапазон температур закалки для получения минимального прогиба полосы. Оптимальной является закалка с температуры 1000°С. Моделирование и оптимизация данной задачи успешно решается в программа Microsoft Excel с использованием надстройки Поиск решения.

Список литературы: 1. Машиностроение. Энциклопедия. – Т. IV-16. Сельскохозяйственные машины и оборудование / И.П. Ксенович, Г.П. Варламов, Н.Н. Колчин и др.; Под ред. И.П. Ксеновича. – М.: Машиностроение, 2002. – 72 с. 2. Денисенко М. І. Підвищення експлуатаційної надійності деталей робочих органів ґрунтообробних машин / М. І. Денисенко, В. Д. Войтюк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – № 166. – С. 274–283. 3. Халанский В. М. Сельскохозяйственные машины / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – М.: КолосС, 2004. – 624 с. 4. Виноградов В. Н. Износостойкость сталей и сплавов: Учебное пособие для вузов / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин. – М.: Нефть и газ, 1994. – 417 с. 5. Шаблій О. Основні напрямки індукційного наплавлення робочих органів сільськогосподарських машин / О. Шаблій, Ч. Пулька, О. Король // Вісник ТДТУ. – 2008. – Т. 13. – №4. – С. 100–109. 6. Рабинович А. Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин /

А. Ш. Рабинович. – М.: ГОСНИТИ, 1962. – 165 с. **7.** Рябцев И. А. Применение износостойкого плакированного проката при изготовлении рабочих органов почвообрабатывающих машин / И. А. Рябцев // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка в машиностроении и ремонте. – К.: ИЭС им Е. О. Патона, 1981. – С. 54–59. **8.** Сорокин Г. М. Трибология сталей и сплавов. Учебн. для вузов / Г. М. Сорокин. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 2000. – 317 с. **9.** Голованенко С. А. Сварка прокаткой биметаллов / С. А. Голованенко. – М.: Metallurgiya, 1977. – 160 с. **10.** Рябцев И. А. Износостойкий плакированный прокат / И. А. Рябцев. – К.: Знание, 1982. – 24 с. **11.** Рябцев И. А. Технология производства плакированных лемехов культиваторов-плоскорезов / И. А. Рябцев, Х. Х. Розенфельд, А. И. Чин // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. – 1984. – Вып. 14. – С. 24–28. **12.** Рябцев И. А. Расчет деформации плакированного износостойкого проката при термической обработке / И. А. Рябцев, А. И. Кренделева, В. Г. Васильев, Т. А. Корниенко // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 1983. – No 3. – С. 13–15. **13.** Трыков Ю. П. Деформация слоистых композитов: Монография / Ю. П. Трыков, В. Г. Шморгун, Л. М. Гуревич. – Волгоград: ВолГТУ, 2001. – 242 с. **14.** Прецизионные сплавы. Справочник / Под ред. Б. В. Молотилова. – М.: Metallurgiya, 1974. – 448 с. **15.** Кобелев А. Г. Технология слоистых металлов: Учебн. пособие / А. Г. Кобелев, И. Н. Потапов, Е. В. Кузнецов. – М.: Metallurgiya, 1991. – 248 с. **16.** Синицын В. Г. Исследование изгиба биметаллических полос при прокатке / В. Г. Синицын, Н. П. Громов // Прецизионные сплавы. Труды ЦНИИЧМ. – Вып. 23. – М.: Metallurgizdat, 1959. – С. 134–149.

Bibliography (transliterated): **1.** Mashinostroenie. `Enciklopediya. – T. IV–16. Sel'skohozyajstvennyye mashiny i oborudovanie / I.P. Ksenevich, G.P. Varlamov, N.N. Kolchin i dr.; Pod red. I.P. Ksenevicha. – Moscow: Mashinostroenie, 2002. – 72 p. **2.** Denisenko M. I. Pidvischennya ekspluatacijnoi nadijnosti detalej robochih organiv gruntoobrobnih mashin / M. I. Denisenko, V. D. Vojtyuk // Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraїni. – 2011. – No 166. – P. 274–283. **3.** Halanskij V. M. Sel'skohozyajstvennyye mashiny / V. M. Halanskij, I. V. Gorbachev. – Moscow: KolosS, 2004. – 624 p. **4.** Vinogradov V. N. Iznosostojkost' stalej i splavov: Uchebnoe posobie dlya vuzov / V. N. Vinogradov, G. M. Sorokin. – Moscow: Neft' i gaz, 1994. – 417 p. **5.** Shabl'ij O. Osnovni napryamki indukcijnogo naplavlennya robochih organiv sil'skogospodars'kih mashin / O. Shabl'ij, Ch. Pul'ka, O. Korol' // Visnik TDTU. – 2008. – T. 13. – No4. – P. 100-109. **6.** Rabinovich A. Sh. Samozatachivayuschiesya pluzhnye lemehi i drugie pochvorezhushchie detali mashin / A. Sh. Rabinovich. – Moscow: GOSNITI, 1962. – 165 p. **7.** Ryabcev I. A. Primenenie iznosostojkogo plakirovannogo prokata pri izgotovlenii robochih organov pochvoobrabatyvayuschih mashin / I. A. Ryabcev // Teoreticheskie i tehnologicheskie osnovy naplavki. Naplavka v mashinostroenii i remonte. – Kiev: I'ES im E. O. Patona, 1981. – P. 54–59. **8.** Sorokin G. M. Tribologiya stalej i splavov. Uchebn. dlya vuzov / G. M. Sorokin. – Moscow: ОАО «Izdatel'stvo «Nedra», 2000. – 317 p. **9.** Golovanenko P. A. Svarka prokatkoj bimetallov / S. A. Golovanenko. – Moscow: Metallurgiya, 1977. – 160 P. **10.** Ryabcev I. A. Iznosostojkij plakirovannyj prokat / I. A. Ryabcev. – Kiev: Znanie, 1982. – 24 P. **11.** Ryabcev I. A. Tehnologiya proizvodstva plakirovannyh lemehov kul'tivatorov-ploskorezov / I. A. Ryabcev, X. X. Rozenfel'd, A. I. Chin // Konstruirovanie i tehnologiya proizvodstva sel'skohozyajstvennyh mashin. – 1984. – Vyp. 14. – P. 24–28. **12.** Ryabcev I. A. Raschet deformacii plakirovannogo iznosostojkogo prokata pri termicheskoy obrabotke / I. A. Ryabcev, A. I. Krendeleva, V. G. Vasil'ev, T. A. Kornienko // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 1983. – No 3. – P. 13-15. **13.** Trykov Yu. P. Deformaciya sloistyh kompozitov: Monografiya / Yu. P. Trykov, V. G. Shmorgun, L. M. Gurevich. – Volgograd: VolGTU, 2001. – 242 p. **14.** Precizionnye splavy. Spravochnik / Pod red. B. V. Molotilova. – M.: Metallurgiya, 1974. – 448 p. **15.** Kobelev A. G. Tehnologiya sloistyh metallov: Uchebn. posobie / A. G. Kobelev, I. N. Potapov, E. V. Kuznecov. – Moscow: Metallurgiya, 1991. – 248 p. **16.** Sinicyn V. G. Issledovanie izgiba bimetallicheskih polos pri prokatke / V. G. Sinicyn, N. P. Gromov // Precizionnye splavy. Trudy CNIICHM. – Vyp. 23. – Moscow: Metallurgizdat, 1959. – P. 134-149.

Поступила (received) 25.09.2014