

В. Г. Загорянский

Кременчугский национальный университет им. М. Остроградского, Кременчуг

Влияние основных технологических параметров на прочность соединения слоев биметалла алюминий-медь

На основании опытных данных показано влияние основных технологических факторов на прочность соединения слоев биметалла алюминий-медь, полученного холодной прокаткой. Получена математическая модель, которая может быть применена для расчета оптимальных размеров исходных заготовок при холодной прокатке данного биметалла.

Ключевые слова: холодная прокатка, биметалл алюминий-медь, относительная деформация, прочность соединения шаров, математическая модель

Сортамент биметаллических листов, плит и лент из цветных металлов и сплавов или с их использованием производится, за небольшим исключением, методом прокатки. В настоящее время для получения биметалла алюминий-медь применяются различные способы: плакирование прокаткой, взрывом и другие, каждый из которых обладает своими преимуществами, но и имеет недостатки. Поэтому эти способы не исключают, а взаимно дополняют друг друга.

Прокатка также применяется для получения требуемых потребителю размеров, физико-механических и технологических свойств, а также структуры данного биметалла, полученного плакированием взрывом. Отмечается [1], что для данного биметалла при плакировании взрывом даже незначительные отклонения от оптимальных режимов плакирования (повышенные параметры соударения) приводят к тому, что прочность сцепления слоев резко снижается. Кроме того, импульсное нагружение обуславливает недостаточную точность формы получаемых листов, а также имеется сложность в нанесении тонкой (0,5 мм и менее) плакировки на листы промышленных габаритов.

Несмотря на значительное число как экспериментальных [2, 3], так и обобщающих работ [4], оптимальные технологии получения биметаллов во многом остаются еще областью эмпирических подходов. Теория и технология получения биметаллов прокаткой изучена наиболее полно, однако и здесь имеются возможности для оптимизации технологических параметров. Одним из таких направлений является создание на основе теории планирования эксперимента модели, учитывающей влияние определяющих факторов на функцию отклика и позволяющей найти оптимальные диапазоны этих факторов [5].

В работе [5] холодная прокатка биметалла 08кп-сплав АСМ рассматривается как процесс, аналогичный холодной прокатке биметалла алюминий-медь, что самым важным показателем каждого биметалла при любых способах его изготовления является прочность (t , Мпа) сцепления его слоев. На этот показатель влияют, прежде всего, физико-химические свойства металлов и сплавов, составляющих композицию, и технологические параметры способа его изготовления.

Цель работы – исследование влияния технологических факторов на прочность соединения слоев при холодной прокатке биметалла алюминий-медь, создание математической модели влияния технологических факторов на прочность соединения слоев и определение оптимальных диапазонов влияющих факторов.

Основными технологическими факторами при получении биметалла холодной прокаткой, определяющими прочность соединения слоев, являются [5] относительная деформация (обжатие) пакета

$$\varepsilon = \frac{H-h}{H} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{h}{H}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где H – исходная толщина пакета, h – толщина пакета после прокатки, а также отношение исходной толщины плакирующего слоя к исходной общей толщине пакета (доля плакировки)

$$a = \frac{H_1}{H}, \quad (2)$$

где H_1 – толщина плакирующего слоя в исходном пакете.

При прокатке медно-алюминиевых композиций возникает немало технологических трудностей, в том числе то, что для прочного сцепления слоев при непосредственном плакировании холодной прокаткой алюминия медью нужны высокие относительные обжатия (65...70 %), а возможности прокатного оборудования ограничивают толщину крупногабаритных листов и плит (не более 4 мм) [6].

Пример размерных характеристик промышленных медно-алюминиевых композиций представлен в табл. 1 [7].

Известно [8], что оценка качества соединения слоев в биметаллическом прокате сопряжена с определенными трудностями, связанными с существенным различием физических свойств и химического состава металлов основного и плакирующего слоев, а также с незначительной толщиной последнего, которая составляет обычно не более 15 % общей толщины биметалла.

Для количественного установления прочности

Медно-алюминиевые композиции (полосы и ленты) для электротехнической промышленности

Композиция	Толщина, мм		Ширина, мм (основа/плакировка)	Назначение
	общая	плакировка		
Алюминий А+ + медь М1	1,5	0,1...0,4	50/50	для электрических цепей

связи плакирующего и основного слоев биметалла, полученного прокаткой (или другим способом), традиционно используется испытание образцов на срез. Данная методика, использующая растяжение до разрушения плоского образца с выполненными надрезами каждого из его слоев с дальнейшим расчетом прочности соединения слоев по отношению усилия при растяжении к площади поверхности соединения между надрезами, рекомендуется при толщине биметалла до 8 мм [8]. При большей толщине биметалла рекомендуется использовать образцы со «ступенькой» (для испытания на «скалывание» плакирующего слоя). Отметим, что последняя методика используется в действующем межгосударственном стандарте ГОСТ 10885-85 «Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая. Технические условия» для определения прочности соединения слоев двухслойных листов толщиной свыше 8 мм, при этом толщина плакирующего слоя должна быть не менее 2 мм.

Для четкого контроля толщины плакирующего слоя в биметаллических образцах, полученных прокаткой, и с учетом принятых методик определения прочности соединения слоев на срез на образцах со «ступенькой» принимаем: толщину плакирующего слоя в композиции после прокатки не менее 1 мм, а отношение толщины плакирующего слоя к исходной толщине всего пакета – 0,15...0,25.

Таким образом, на основании вышеизложенного, принимаем уровни варьирования факторов (табл. 2).

Таблица 2

Условия экспериментов

Уровень	Факторы	
	X_1 (ε , %)	X_2 (а)
Верхний (+1)	75	0,25
Основной (0)	60	0,2
Нижний (-1)	45	0,15
Шаг варьирования	15	0,05

Далее следует задать исходные толщины двухслойной композиции, толщины слоев в них (исходя из величины а – доли плакирующего слоя в исходном пакете, табл. 2). Для нахождения величины ε нужно знать толщины композиций после прокатки, для чего используем известные закономерности деформации биметаллической полосы при прокатке (методика численного моделирования приведена в работе [9]).

Согласно этим закономерностям, толщина плакирующего слоя после прокатки определяется по формуле:

$$h_1 = H_1 - \Delta h_1, \quad (3)$$

Таблица 1 где Δh_1 – частное обжатие плакирующего слоя биметаллической полосы в данном пропуске прокатки, определяемое по формуле

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta h}{\left(\frac{1}{m^2} + 1\right)} = \frac{\Delta h \cdot m^2}{1 + m^2}, \quad (4)$$

где m – отношение сопротивлений деформации металлов слоев, определяемое по формуле

$$m = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \quad (5)$$

где, как традиционно принято в исследованиях, посвященных биметаллам, ρ_1 – обозначает сопротивление деформации металла плакирующего слоя, ρ_2 – сопротивление деформации металла основного слоя. В первом приближении примем сопротивление деформации ρ данного металла равным условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$ этого металла при данной степени деформации.

Зависимость для частного обжатия Δh_2 основного слоя биметаллической полосы в данном пропуске прокатки [9]:

$$\Delta h_2 = \frac{\Delta h}{1 + m^2}. \quad (6)$$

Толщина основного слоя после прокатки определяется по формуле:

$$h_2 = H_2 - \Delta h_2, \quad (7)$$

где H_2 – толщина основного слоя в исходном пакете.

Для марок металлов исследуемой композиции алюминий АД0 + медь М1 в справочной литературе отсутствуют данные по упрочнению при холодной прокатке. Поэтому для расчета сопротивления деформации принимаем ближайшие по составу марки из приведенных в справочной литературе [10] – алюминий А1 + медь М4.

Для меди М4 зависимость предела текучести от относительной деформации ε , в кг/мм² [10]:

$$\sigma_{0,2} = 7,5 + 5,6 \cdot \varepsilon^{0,41}. \quad (8)$$

Для алюминия А1 зависимость предела текучести от относительной деформации ε , в кг/мм² [10]:

$$\sigma_{0,2} = 6 + 0,64 \cdot \varepsilon^{0,62}. \quad (9)$$

Таким образом, отношения значений условных пределов текучести (пересчитано в МПа) составят:

$$\text{при } \varepsilon = 45 \%: m = \frac{\sigma_{0,2Cu}}{\sigma_{0,2Al}} = \frac{335}{125} = 2,68;$$

$$\text{при } \varepsilon = 60 \%: m = \frac{\sigma_{0,2Cu}}{\sigma_{0,2Al}} = \frac{368}{138} = 2,67;$$

$$\text{при } \varepsilon = 75 \%: m = \frac{\sigma_{0,2Cu}}{\sigma_{0,2Al}} = \frac{396}{150} = 2,64.$$

Толщины исходных пакетов и слоев назначаем из условий обеспечения требуемых значений a и ε , а также толщин плакировки после прокатки не менее 1 мм (табл. 3). Значения h_1 и h_2 вычисляются по приведенным выше формулам (3) и (7).

Толщины слоев, полученные в композициях после прокатки, отличались от расчетных (табл. 3) не более чем на 5...10 %.

При прокатке в качестве основного слоя использовались полосы из алюминия марки АД0 (межгосударственный стандарт ГОСТ 4784-97 «Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки»), получаемые из листов, поставляемых по межгосударственному стандарту ГОСТ 21631-76 «Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия», толщины которых (до 10 мм) принимались по расчетам, приведенным в табл. 3. Для получения полос толщиной свыше 10 мм использовались шины по ГОСТ 15176-89 «Шины прессованные электротехнического назначения из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия», которые механически обрабатывались с последующим отжигом до толщин, приведенным в табл. 3. Для всех толщин полос размеры в плане – 250×420...450 мм.

В ГОСТ 15176-89 указывается, что шины должны иметь механические свойства в соответствии с ГОСТ 8617-81 «Профили, прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия» (обеспечиваются технологией изготовления и проверяются по требованию потребителя). Требования были выполнены для всех используемых в экспериментах толщин шин.

Отметим, что для алюминия марки АД0 значения механических свойств шин толщиной до 110 мм без термической обработки практически совпадают со значениями этих свойств для листов толщиной до 10,5 мм по межгосударственному стандарту ГОСТ 21631-76 «Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия». Так в первом случае, $\sigma_b \geq 59$ МПа, $\delta \geq 20$ %; во втором случае $\sigma_b \geq 70$ МПа, $\delta \geq 15$ % (толщина 5...10,5 мм, без термообработки) и $\sigma_b \geq 60$ МПа, $\delta \geq 30$ % (толщина 0,9...10,5 мм, отожженные).

Для плакирующего слоя использовался листовой прокат меди марки М1 (межгосударственный стандарт ГОСТ 859-2001 «Медь. Марки»), толщины которого принимались по ГОСТ 495-92 «Листы и полосы

медные. Технические условия» (табл. 3); размеры в плане – 250×450...500 мм. Листы имели механические свойства, соответствующие требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 495-92 «Листы и полосы медные. Технические условия».

Для холодной прокатки пакетов использовался лабораторный стан ДУО со шлифованными валками диаметром 300 мм.

Прочность соединения слоев на срез полученного биметалла определялась по методике расчета прочности на срез для растяжения образцов с надрезами. Для дальнейших расчетов принималась прочность средняя по трем измерениям для каждого варианта сочетания влияющих факторов (варианты соответствуют столбцам табл. 3).

Результаты измерений прочности соединения слоев в биметалле приведены в табл. 4.

Далее следует выбрать форму представления искомой зависимости между влияющими факторами и функцией отклика (прочностью соединения слоев).

В случае, когда аналитическое выражение функции отклика заранее неизвестно, принимается ее разложение, например, в степенной ряд в виде полинома некоторой степени, ограничиваясь некоторым числом членов степенного ряда [11].

Порядок (степень) полинома определяем в соответствии с известным правилом [12], согласно которому число уровней варьирования факторов, учитываемых в эксперименте, должно быть, по крайней мере, на единицу больше порядка полинома, для построения которого планируется эксперимент. Принятое число уровней варьирования факторов – 3, поэтому принимаем полином второго порядка (степени).

Представляя функцию отклика в виде полного квадратичного полинома, используя планы второго порядка, отмечаем, что данный полином содержит большее число членов, чем неполный квадратичный полином, полученный по планам первого порядка, и таким образом требует большего числа выполняемых опытов [12]. Полный квадратичный полином при принятом числе факторов $k = 2$ содержит 6 членов [11]:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2. \quad (10)$$

При планировании эксперимента, основанного на математической модели, соответствующей полиному 2-го порядка, необходимо обеспечить варьирование по каждому из k -факторов на трех уровнях. Тогда необходимое количество опытов, которое нужно провести в эксперименте, должно быть не менее $N = 3^k$, в нашем случае $N = 3^2 = 9$.

Возможные комбинации двух факторов, варьлируемые на трех уровнях, реализуются в 9-ти опытах ($3^2 = 9$), условия которых в безразмерных переменных приведены в матрице планирования

Таблица 3
Значения толщин слоев и пакетов – исходные (использованные в экспериментах) и после прокатки (расчетные)

Толщина, мм	$\varepsilon = 45 \% \text{ при } a$			$\varepsilon = 60 \% \text{ при } a$			$\varepsilon = 75 \% \text{ при } a$		
	0,15	0,20	0,25	0,15	0,20	0,25	0,15	0,20	0,25
H	9,0	8,0	10,0	12,0	12,0	10,0	15,0	15,0	14,0
h	5,0	4,5	5,5	4,5	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0
H_1	2,0	1,5	2,5	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	4,0
H_2	7,0	6,5	7,5	10,0	9,5	7,5	12,5	12,0	10,0
h_1	1,5	1,1	1,9	1,1	1,6	1,7	1,1	1,6	2,7
h_2	3,5	3,4	3,6	3,4	3,4	2,3	2,9	2,4	1,3

эксперимента (табл. 4). Также в табл. 4 приведены значения исходных факторов и результаты экспериментов.

$$b_j = \frac{\sum_{\xi=1}^N X_{j\xi} \bar{Y}_\xi}{\sum_{\xi=1}^N X_{j\xi}^2}, \quad (13)$$

Таблица 4

Матрица планирования и результаты экспериментов

Номер опыта (ξ)	X ₀	X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	X ₁ '	X ₂ '	z ₁ (ε, %)	z ₂ (a)	\bar{Y}_ξ , МПа	\hat{Y}_ξ , МПа
1	+1	-1	-1	+1	1/3	1/3	45	0,15	71	67,9
2	+1	+1	-1	-1	1/3	1/3	75	0,15	86	84,2
3	+1	-1	+1	-1	1/3	1/3	45	0,25	72	67,9
4	+1	+1	+1	+1	1/3	1/3	75	0,25	88	84,2
5	+1	-1	0	0	1/3	-2/3	45	0,2	74	72,1
6	+1	+1	0	0	1/3	-2/3	75	0,2	92	88,4
7	+1	0	-1	0	-2/3	1/3	60	0,15	77	76,1
8	+1	0	+1	0	-2/3	1/3	60	0,25	79	76,1
9	+1	0	0	0	-2/3	-2/3	60	0,2	83	80,2

где j – номер фактора, взаимодействия или квадратичного члена полинома, $j = 0, \dots, m$; m – число членов полинома.

Таким образом, коэффициенты полинома: $b_0 = 80,22$; $b_1 = 8,17$; $b_2 = 0,83$; $b_{12} = 0,25$; $b_{11} = 0,83$; $b_{22} = -4,17$.

После вычисления коэффициентов полинома оцениваем их значимость для определения степени влияния факторов на функцию отклика с помощью t -критерия (критерия Стьюдента). Коэффициент признается незначимым, если t для числа степеней свободы $v = N(n - 1)$

В нашем случае среднее по n (трем) параллельным опытам для каждого ξ -го опыта значение функции отклика находим по формуле

$$\bar{Y}_\xi = \frac{Y_{\xi 1} + Y_{\xi 2} + Y_{\xi 3}}{3}, \quad (11)$$

где $Y_{\xi 1}$, $Y_{\xi 2}$, $Y_{\xi 3}$ – параллельные значения функции отклика (прочности сцепления слоев) для каждого ξ -го опыта.

Дисперсию среднего арифметического в каждой строке ξ матрицы в нашем случае определяем по формуле

$$s_\xi^2 = \frac{\left(Y_{\xi 1} - \bar{Y}_\xi\right)^2 + \left(Y_{\xi 2} - \bar{Y}_\xi\right)^2 + \left(Y_{\xi 3} - \bar{Y}_\xi\right)^2}{2}. \quad (12)$$

Однородность дисперсий проверяем по критерию Кохрена [12]. В нашем случае

$$G = \frac{s_{\xi \max}^2}{\sum_{\xi=1}^N s_\xi^2} = \frac{34,3}{162,3} = 0,21.$$

где $s_{\xi \max}^2$ – максимальное значение выборочной дисперсии.

Критическое значение критерия Кохрена $G_{кр} = 0,48$ для коэффициента риска $\beta = 0,05$, при $n = 3$ и $N = 9$ [12]. Согласно критерию Кохрена эксперимент воспроизводим, когда выполняется неравенство $G_{кр} > G$. В нашем случае эксперимент воспроизводим ($0,48 > 0,21$).

Оценка коэффициентов полинома осуществляется по общей формуле [11]

и определенного коэффициента риска p будет меньше табличного значения критерия Стьюдента $t_{кр}$.

При $v = N \cdot (n - 1) = 9 \cdot (3 - 1) = 18$ и коэффициенте риска $p = 0,05$ табличное значение критерия Стьюдента $t_{кр} = 2,1$ [12].

$$t_j = \frac{|b_j|}{s\{b_j\}}, \quad (14)$$

где

$$s^2\{b_j\} = \frac{s^2\{Y\}}{N \cdot n}, \quad (15)$$

$$s^2\{Y\} = \frac{\sum_{\xi=1}^N s_\xi^2}{N}. \quad (16)$$

В нашем случае $s^2\{Y\} = 18$; $s^2\{b_j\} = 0,67$. Соответственно, $t_2 = 12,2$; $t_2 = 1,2$; $t_{12} = 0,37$; $t_{11} = 1,2$; $t_{22} = 6,2$.

В нашем случае не все коэффициенты значимы и математическое описание функции отклика в заданной области представляет собой полином

$$\hat{Y} = 80,22 + 8,17X_1 - 4,17X_2^2. \quad (17)$$

Переход к натуральным значениям факторов в уравнении (17) выполняется по зависимостям:

$$X_1 = \frac{\varepsilon - 60}{15}; X_2 = \frac{a - 0,2}{0,05}. \quad (18)$$

Далее вычисляются теоретические значения функции отклика и проводится проверка адекватности полученной модели (табл. 4).

Дисперсия адекватности в нашем случае (по зависимости [12])

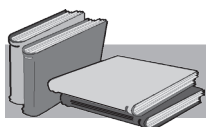
$$s_{ад}^2 = \frac{\sum_{\xi=1}^N \left(Y_{\xi} - \hat{Y}_{\xi} \right)^2}{N - d} = \frac{81}{9 - 3} = 13,5, \quad (19)$$

где d – число членов аппроксимирующего полинома ($d = 3$).

Если $s_{ад}^2$ не превышает дисперсии воспроизводимости эксперимента $s^2\{Y\}$, то полученная математическая модель адекватно отражает результаты эксперимента, если же превышает – проверка проводится с помощью критерия Фишера (F -критерия) [12]. В нашем случае $s_{ад}^2 = 13,5 < s^2\{Y\} = 18$, и полученная модель адекватна.

Выводы

Максимальную прочность соединения слоев при получении биметалла алюминий АД0 + медь М1 холодной прокаткой обеспечивает его прокатку со степенями обжатия 60...75 % и с определенным отношением (0,2) толщины плакирующего слоя (медь) к исходной толщине композиции. При меньших значениях степеней обжатия и отношений толщин 0,15 и 0,25 наблюдается уменьшение прочности соединения слоев. Полученную математическую модель можно использовать для назначения оптимальных параметров прокатки и исходных размеров композиций и слоев при получении данного биметалла холодной прокаткой.



ЛИТЕРАТУРА

1. Воронов С. В. Пластическая деформация слоистых композиционных материалов / С. В. Воронов, Д. Г. Девейно // Порошковая металлургия. – 1982. – № 12. – С. 47-70.
2. Ильченко Н. И. Получение по методу горячей прокатки в вакууме толстых плит из биметалла медь-алюминий / Н. И. Ильченко, С. Ю. Диденко, И. М. Неклюдов и др. / Вопросы атомной науки и техники. – 2002. – № 6. – С. 160-161.
3. Матвеев А. С. Оценка сцепления слоев плакировки и основного металла при холодной прокатке / А. С. Матвеев // Цветные металлы. – 2006. – № 2. – С. 69-71.
4. Трыков Ю. П. Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, В. Г. Шморгун. – М.: Металлургиздат, 2004. – 230 с.
5. Клименко В. М. Исследование влияния некоторых технологических параметров прокатки на прочность соединения биметалла сталь 08кп–сплав АСМ для подшипников скольжения / В. М. Клименко, Хоанг Ха Тиен // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1991. – № 4. – С. 25-26.
6. Рябов В. Р. Сварка алюминия и его сплавов с другими металлами / В. Р. Рябов. – К.: Наук. думка, 1983. – 262 с.
7. Дмитров Л. Н. Биметаллы / Л. Н. Дмитров, Е. В. Кузнецов, А. Г. Кобелев и др. – Пермское книжное изд., 1991. – 415 с.
8. Суровцев А. П. Оценка качества соединения слоев в биметалле / А. П. Суровцев, О. Н. Бакланова // Автоматическая сварка. – 1989. – № 3. – С. 27-32.
9. Загорянский В. Г. Моделирование и программная реализация задачи минимизации изгиба полосы при прокатке по методике подбора толщин слоев компонентов / В. Г. Загорянский // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2013. – № 4 (37). – С. 63-69.
10. Третьяков А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
11. Ивоботенко Б. А. Планирование эксперимента в электромеханике / Б. А. Ивоботенко, Н. Ф. Ильинский, И. П. Копылов. – М.: Энергия, 1971. – 185 с.
12. Блохин В. Г. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / В. Г. Блохин, О. П. Глудкин, А. И. Гуров, М. А. Ханин; под ред. О. П. Глудкина. – М.: Радио и связь, 1997. – 232 с.

Анотація

Загорянский В. Г.

Вплив основних технологічних параметрів на міцність з'єднання шарів біметалу алюміній-мідь

На підставі дослідних даних показано вплив основних технологічних факторів на міцність з'єднання шарів біметалу алюміній-мідь, отриманого холодною прокаткою. Отримана математична модель, яка може бути застосована для розрахунку оптимальних розмірів вихідних заготовок при холодній прокатці даного біметалу.

Ключові слова

холодна прокатка, біметал алюміній-мідь, відносна деформація, міцність з'єднання шарів, математична модель

The author has shown the influence of main technological factors on the strength of bonding of the layers of the bimetal aluminum-copper, obtained by cold rolling, on the basis of the experimental data. The mathematical model is obtained which can be used to calculate the optimal dimensions of the stock materials in cold rolling of this bimetal.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ И ПОДПИСЧИКОВ!

Порядок приёма статей в редакцию журнала

«Металл и литьё Украины»

В журнале «Металл и литьё Украины» публикуются результаты исследований, которые ранее не издавались и законченные экспериментальные работы, оформленные в виде статей.

Статьи публикуются на русском языке.

Комплект документов, необходимых для регистрации статьи:

В бумажной версии подаются/присылаются:

- *один экземпляр рукописи (включая: УДК; организацию; ФИО авторов, резюме и ключевые слова (не меньше 6-ти) на 3-х языках – русском, украинском и английском; текст статьи; таблицы; рисунки и подписи к ним, а также список литературы), пронумерованной с первой до последней страницы и подписанной на последней странице текста всеми авторами, а также электронный вариант статьи;*
- *рецензия на статью и соглашение о передаче авторских прав, подписанное всеми авторами*
- *сведения об авторах (ФИО – полностью)*

В электронном виде по e-mail: mlu@ptima.kiev.ua предоставляются:

- *рукопись, идентичная бумажной версии (просьба называть файл по фамилии первого автора статьи, например, *sidorov.doc* или *Сидоров.doc*);*
- *все иллюстрации в черно-белом варианте в одном из стандартных графических форматов «tif» или «jpeg»;*
- *информация об авторах: фамилии, имена и отчества всех авторов, выделив одного из них, с кем следует вести переписку, факс и номер телефона (с кодом), а также названия учреждений, в которых выполнена работа.*