

Visnik Donbas'koi derzhavnoi mashinobudivnoi akademii : zbirnik naukovih prac'. – Kramators'k : DDMA, 2006. – N 3 (5). – P. 108–113. **11.** Aliieva L. I. Modelirovanie processa kombinirovannogo vydavlivaniya poloj detali s flancem na osnove vizualizacii postanovki zadachi / L. I. Aliieva, Ja. G. Zhbakov, E. A. Mjasushkin // Visnik Donbas'koi derzhavnoi mashinobudivnoi akademii : zbirnik naukovih prac'. – Kramators'k : DDMA, 2008. – №1 (11). – P. 20–24. **12.** Aliieva L. I. Analysis of billet deformation during the combined radial-backward extrusion / L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhbakov // New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. – Czestochowa : Quick-druk, 2012. – P. 389–396. **13.** Aliieva L. I. Ocenka i prognozirovanie otklonenij formy detalej pri holodnom vydavlivanii / L. I. Aliieva // Plasticheskaja deformacija metallov : kollektivnaja monografija. – Dnepropetrovsk : NMetAU, 2014. – P. 353–369. – ISBN 978-617-7109-18-0 **14.** Aliieva L. I. Modelirovanie processa kombinirovannogo radial'no-obratnogo vydavlivaniya detalej tipa stakan s flancem / L. I. Aliieva, N. S. Grudkina // Vestnik NTU «ХПІ». – Khar'kov, 2012. – N 47 (953). – P. 3–9. **15.** Aliieva L. I. Issledovanie deformirovannogo sostojanija pri kombinirovannom radial'no-obratnom vydavlivanii polyh detalej s flancem / L. I. Aliieva, N. S. Grudkina // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta : sb. nauchn. rabot. – Rostov-na-Donu : DGTU, 2012. – P. 195–198. **16.** Aliieva L. I. Issledovanie processa kombinirovannogo radial'no-obratnogo vydavlivaniya detalej s flancem s razedinennym ochagom deformacii / L. I. Aliieva, N. S. Grudkina // Vestnik KGIU. – Temirtau, 2014. – N 1 (4). – P. 19–24. **17.** Aliieva L. I. Teoreticheskij analiz processa kombinirovannogo radial'no-obratnogo vydavlivaniya detalej s flancem / L. I. Aliieva, N. S. Grudkina // Izvestija MGTU «MAMI»: nauchnyj recenziruemyj zhurnal. – Moscow : MGTU «MAMI», 2013. —N 2 (16) Vol. 2. – P. 163–171. – ISSN 2074-0530.

Поступила (received) 06.11.2015

УДК 621.771.8

**В. Г. ЗАГОРЯНСКИЙ**, канд. техн. наук, доц., Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОБЖАТИЙ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СИММЕТРИЧНОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПАКЕТА НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ ЕГО СЛОЕВ**

Разработана методика расчета режима обжатий при горячей прокатке четырехслойных симметричных пакетов «углеродистая сталь + нержавеющая сталь». Режим обжатий определяется конечной толщиной биметаллического листа и толщиной плакирующего слоя в нем, а также исходной толщиной плакирующих листов в пакете. Расчет коэффициентов высотной деформации – среднего и по проходам позволяет рассчитать необходимое количество проходов при прокатке и обжатия по проходам.

**Ключевые слова:** расчетная методика, режим обжатий, горячая прокатка, четырехслойный пакет, коррозионностойкий биметалл.

**Введение.** Расчет режима обжатий при получении горячей прокаткой биметаллической толстолистовой стали во многом отличается от традиционных, имеющих теоретическое обоснование, методик расчета режимов обжатий при прокатке слябов и листовой стали из монометалла (основанных на предельных условиях захвата, расчета по прочности прокатных валков, крутящему моменту электродвигателя, по величине относительной деформации и т. д.). Отличия состоят, главным образом, в неравномерности

деформации каждого слоя биметаллического пакета при прокатке, а также в необходимости учета условий схватывания разнородных слоев между собой.

**Анализ последних исследований и литературы.** Рациональная методика назначения режима обжатий пакета при получении биметаллических листов горячей прокаткой содержит назначение толщин каждого слоя исходного пакета и разбивку обжатий по проходам с тем, чтобы получить требуемые толщины слоев в готовом листе (с учетом вышеназванных отличий от прокатки монометалла). Отметим, что в работах, посвященных теории и технологии горячей прокатки [1–3], в соответствующих разделах, посвященных биметаллам, рекомендации носят общий характер, а в исследованиях, посвященных получению биметаллов горячей прокаткой [4], там, где приведены таблицы режимов обжатий, методики назначения режимов обжатий биметаллических пакетов не приводятся.

**Цель исследования, постановка проблемы.** Ставилась задача разработки расчетной методики назначения режимов обжатий при горячей прокатке биметалла «углеродистая сталь + нержавеющая сталь» (случай прокатки симметричных четырехслойных пакетов) на основе закономерностей деформации слоев пакета при прокатке.

**Материалы исследований.** Для определения с достаточной точностью ориентировочных размеров симметричного четырехслойного пакета (двойной биметаллический лист с разделительным слоем) из углеродистой стали (наружные слябы) и нержавеющей стали (внутренние листы) и каждого слоя готового двухслойного листа (рис. 1) рекомендуются полученные на основе практических данных эмпирические формулы.

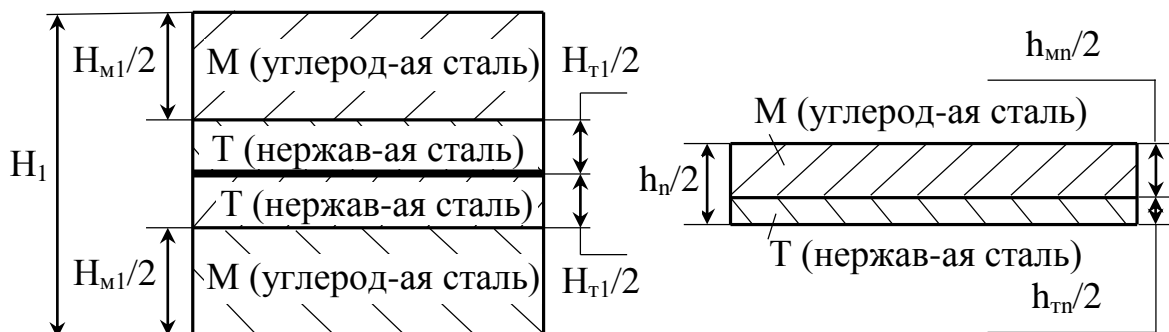


Рис. 1 – Схема толщин исходного 4-х слойного пакета (слева) и готового двухслойного листа (справа)

Размеры общей толщины и плакирующих слоев четырехслойного пакета связаны следующей формулой [1, 2]:

$$H_1 = \frac{100 \cdot H_{T1}}{k \cdot a}, \quad (1)$$

где  $H_1$  – исходная толщина четырехслойного пакета, мм;  $H_{T1}$  – исходная общая толщина листов плакирующего слоя (нержавеющей стали) в пакете, мм;  $k$  – коэффициент неравномерности пластической деформации, показывающий, насколько меньше или больше пластическая деформация плакирующего слоя чем основного;  $a$  – отношение толщины плакирующего слоя к общей толщине готового листа, %.

Значения коэффициента  $k$  для данного типа пакетов несколько отличаются в разных исследованиях; так, в работе [3]  $k = 0,85 \dots 0,95$ ; при приближенных расчетах рекомендуется принимать среднее значение  $k = 0,9$ ; в работе [4]  $k = 0,9 \dots 1,1$ . Значение  $a$  принимается в соответствии с ГОСТ 10885-85 «Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая. Технические условия», определяющим размеры готовых биметаллических коррозионностойких листов. При толщине, например, 10 мм плакированного двухслойного листа, толщина коррозионностойкого слоя должна составлять 2...3 мм (нормальная толщина) и 3...4 мм (повышенная толщина). Анализ результатов расчетов [3, 4] и проведенных автором показывает, что следует несколько увеличивать (по сравнению с минимальным стандартным) исходное значение  $a$ .

При известной общей толщине листов нержавеющей стали в исходном пакете исходная общая толщина металла основного слоя равна

$$H_{M1} = H_1 - H_{T1} \quad (2)$$

Разрабатываемая методика расчета обжатия слоев будет основываться на известных закономерностях [4, 5], учитывающих параметр  $A$  – соотношение прочностных характеристик, составляющих пакета при прокатке и параметр  $B$  – отношение толщины плакирующего слоя к общей толщине пакета в данном проходе. Параметр  $A$  определяется как [4]:

$$A = \frac{\sigma_{sT}}{\sigma_{sM}}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{сГ}$ ,  $\sigma_{сГ}$  – прочностные характеристики металла соответственно твердого и мягкого слоя в биметаллическом пакете. В данном случае под ними, очевидно, имеется в виду сопротивление деформации при данных условиях деформирования  $\sigma_u$ , МПа [6, 7]:

$$\sigma_u = S\sigma_0 u^a (10\varepsilon)^b \left(\frac{t}{1000}\right)^c, \quad (4)$$

где  $u$  – скорость деформации,  $c^{-1}$ ;  $\varepsilon$  – условная относительная деформация (обжатие), в долях единицы;  $t$  – температура, °С. Для стали Ст.3сп при базовых значениях ( $u = 1 c^{-1}$ ,  $\varepsilon = 0,1$ ,  $t = 1000^\circ\text{C}$ )  $\sigma_u$  равно ( $S = 0,96$ ;  $\sigma_0 = 90,7$ ;  $a = 0,124$ ;  $b = 0,167$ ;  $c = -2,54$  [7]) 87,1 МПа, для стали 12Х18Н10Т ( $S = 0,825$ ;  $\sigma_0 = 222$ ;  $a = 0,112$ ;  $b = 0,088$ ;  $c = -4,35$  [7])  $\sigma_u$  равно 183,2 МПа.

Таким образом, сопротивление деформации этих сталей отличается в 2,1 раза (плакирующий слой коррозионностойкой стали «тверже»).

Параметр  $B$  (отношение толщины плакирующего слоя к толщине пакета в данном проходе)

$$B_i = \frac{H_{Ti}}{H_i}. \quad (5)$$

Исходная толщина пакета была обозначена  $H_1$ , толщину пакета перед каждым последующим проходом прокатки обозначим  $H_2, \dots, H_i$ , где  $i = 1, \dots, n$ ,  $n$  – число проходов. Введем также идентификатор  $h_i$ , обозначающий толщину пакета после прохода, тогда  $h_1 = H_2$ , и т. д., то есть  $h_i = H_{i+1}$ .

Исходная толщина плакирующего слоя была обозначена  $H_{T1}$ , соответственно толщину плакирующего слоя в дальнейших проходах (значение перед проходом) обозначим  $H_{Ti}$ .

Абсолютная деформация по толщине в первом проходе  $\Delta H_1 = H_1 - H_2$ , а в общем виде (в каждом проходе)

$$\Delta H_i = H_i - H_{i+1} = H_i - h_i. \quad (6)$$

Относительная деформация (обжатие) за проход, %:

$$\varepsilon_i = \frac{H_i - H_{i+1}}{H_i} \cdot 100\% = \frac{H_i - h_i}{H_i} \cdot 100\% = \frac{\Delta H_i}{H_i} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Для получения прокаткой прочного соединения в биметалле углеродистая сталь + нержавеющая сталь в работе [4] рекомендуется, если поверхность плакирующего слоя не покрыта предварительно слоем никеля (для дробления плотной пленки оксидов, появляющейся на поверхности слоя нержавеющей стали с большим процентным содержанием хрома и ухудшающей соединение слоев), в первых проходах обеспечить относительные обжатия не менее 22...23%.

Абсолютное обжатие твердого слоя в данном проходе

$$\Delta H_{Ti} = \frac{B_i \cdot \Delta H_i}{A(1 - B_i) + B_i}. \quad (8)$$

Толщина плакирующего слоя перед проходом, начиная со второго прохода:

$$H_{Ti} = H_{Ti-1} - \Delta H_{Ti-1}. \quad (9)$$

Как формализовать решение задач этого типа, чтобы решать их с использованием компьютерной техники? Очевидно, что самое трудоемкое здесь – распределение обжатий по проходам. Для сочетания «углеродистая сталь + нержавеющая сталь» можно воспользоваться данными [4], согласно которым относительные обжатия по проходам лежат в диапазоне 10...15%, при этом нет рекомендуемого в практике прокатки назначения максимальных обжатий в первых проходах. Воспользуемся подходом, учитывающим коэффициенты высотной деформации [3].

Средний коэффициент высотной деформации

$$k_{cp} = \sqrt[n]{\frac{H_1}{h_n}}, \quad (10)$$

коэффициент высотной деформации в первом проходе

$$k_1 = \frac{H_1}{H_2}. \quad (11)$$

Коэффициенты высотной деформации – средний и в первом проходе, для примеров прокатки коррозионностойких биметаллических листов [4] различаются незначительно. Для определения показателя  $n$  – количества проходов предлагается использовать следующую зависимость

$$k_{cp} - k_1 = n \sqrt{\frac{H_1}{h_n}} - \frac{H_1}{H_2} \rightarrow \min, \quad (12)$$

откуда

$$n \approx \frac{\lg \frac{H_1}{h_n}}{\lg \frac{H_1}{H_2}}. \quad (13)$$

Значение  $n$  округляется до ближайшего большего целого. Значения  $H_1$  и  $h_n$  (исходная и конечная толщина пакета) известны. Исходя из условия получения лучших условий схватывания слоев, предлагается назначать значение  $H_2$  так, чтобы обжатие в первом проходе принимало значение верхней границы рекомендуемого диапазона обжатий 10...15% [4], то есть принимать значение  $H_2$  так, чтобы получить  $\varepsilon_1 = (H_1 - H_2) / H_1 \approx 0,15$ .

Таким образом, общая последовательность (алгоритм) методики назначения режима обжатий будет выглядеть таким образом:

1) находится величина  $H_2$ . Когда  $H_2 = 0,85H_1$ , относительное обжатие в первом проходе будет 15%. Округляем  $H_2$  до ближайшего большего целого числа, кратного двум.

2) рассчитывается по известным значениям  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $h_n$  необходимое число проходов  $n$ .

3) вычисляется средний коэффициент высотной деформации  $k_{cp}$ ;

4) вычисляется для первого прохода значения  $B_1$  ( $H_{m1}/H_1$ ) и  $\Delta H_{m1}$  (по формуле (8));

5) назначается значение  $H_3$  исходя из того, чтобы разность между коэффициентом высотной деформации во втором проходе  $k_2$  ( $H_2/H_3$ ) и средним коэффициентом высотной деформации  $k_{cp}$  была минимальной. Аналогично назначаются  $H_i$  для последующих проходов ( $k_i = H_i/H_{i+1} \approx k_{cp}$ );

6) вычисляются для второго прохода значения  $H_{m2}$  (по формуле (9)),  $B_2$  ( $H_{m2}/H_2$ ) и  $\Delta H_{m2}$ ;

7) вычисляются для третьего прохода значения  $H_{m3}$ ,  $B_3$  ( $H_{m3}/H_3$ ) и  $\Delta H_{m3}$ ;

8) вычисляется суммарное обжатие за два прохода  $\varepsilon_\Sigma = (H_1 - H_3)/H_1 = (H_1 - h_2)/H_1$ . Если суммарное обжатие меньше 22%, продолжаем расчеты по

проходам, если суммарное обжатие больше 22%, то полученное в данном проходе значение  $B$  используем для дальнейшего расчета значений  $H_m$  по проходам:  $H_{mi} = H_i \cdot B$ ;

9) вычисляется значение  $h_{mn}$  по зависимости [4]:

$$h_{Tn} = h_n \cdot B, \quad (14)$$

где  $h_{Tn}$  – общая толщина плакирующего слоя в готовом пакете;  $h_n$  – толщина готового пакета, и проверяется, лежит ли полученное значение  $h_{Tn}$  в пределах, установленных ГОСТ 10885-85 для листов данной толщины.

Отметим, что при расчете по данной методике в последнем проходе фигурирует двойная толщина готового листа, и, соответственно, двойная толщина плакирующего слоя. Методика расчета может использоваться и для случая, когда внутри пакета находятся мягкие слои.

**Выводы:** Разработана методика расчета режима обжатий при горячей прокатке четырехслойных симметричных пакетов «углеродистая сталь + нержавеющая сталь». Методика позволяет по исходным данным (исходные толщина пакета и толщина плакирующего слоя в нем, толщина готового листа и плакирующего слоя в нем) назначать необходимое количество проходов и обжатия по проходам. При этом до схватывания слоев, которое происходит при определенном (принимаемом) значении суммарного обжатия, деформация слоев зависит от отношения прочностных характеристик слоев, доли плакирующего слоя в исходном пакете и обжатий слоев в проходе. После схватывания слоев деформация слоев по проходам принимается равномерной, то есть отношение толщины плакирующего слоя к толщине пакета не изменяется (относительное обжатие каждого слоя равно относительному обжатию всего пакета).

Необходимое количество проходов и обжатия по проходам назначаются с использованием коэффициентов высотной деформации – среднего и по проходам.

**Список литературы:** 1. Технология прокатного производства. В 2-х книгах. Кн. 2. Справочник / Беляковский М. А., Богоявленский К. Н., Виткин А. И. [и др.]; под ред. В. И. Зюзина, А. В. Третьякова. – М.: Металлургия, 1991. – 423 с. 2. Рудской А. И. Теория и технология прокатного производства: Учеб. пособие / А. И. Рудской, В. А. Лунев. – СПб.: Наука, 2005. – 540 с. 3. Литовченко Н. В. Станы и технология прокатки листовой стали / Н. В. Литовченко. – М.: Металлургия, 1979. – 272 с. 4. Голованенко С. А. Производство биметаллов / С. А. Голованенко, Л. В. Меандров. – М.:

Металлургия, 1966. – 304 с. **5.** Поздеев А. А. Первое приближение метода гидродинамических аналогий в теории обработки металлов давлением / А. А. Поздеев, В. И. Тарновский // Инженерные методы расчета технологических процессов обработки металлов давлением. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 324 с. **6.** Третьяков А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – М.: Metallurgiya, 1973. – 224 с. **7.** Коновалов Ю. В. Расчет параметров листовой прокатки. Справочник / Ю. В. Коновалов, А. Л. Остапенко, В. И. Пономарев. – М.: Metallurgiya, 1986. – 430 с.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Benyakovskij, M. A., et al. *Tehnologiya prokatnogo proizvodstva. V 2-h knigah. Kn. 2. Spravochnik.* Moskow: Metallurgiya, 1991. Print. **2.** Rudskoj, A. I. *Teoriya i tehnologiya prokatnogo proizvodstva: Ucebnoe posobie.* Sankt-Peterburg: Nauka, 2005. Print. **3.** Litovchenko, N.V. *Stany i tehnologiya prokatki listovoj stali.* Moskow: Metallurgiya, 1979. Print. **4.** Golovanenko, S. A. and L. V. Meandrov. *Proizvodstvo bimetallov.* Moskow: Metallurgiya, 1966. Print. **5.** Pozdeev, A. A. and V. I. Tarnovskij. «Pervoe priblizhenie metoda gidrodinamicheskikh analogij v teorii obrabotki metallov davleniem.» *Inzhenernye metody rascheta tehnologicheskikh protseccov obrabotki metallov davleniem.* Moskow: Metallurgizdat, 1963. Print. **6.** Tret'yakov, A. V. and V. I. Zyuzin. *Mehanicheskie svojstva metallov i splavov pri obrabotki metallov davleniem.* Moskow: Metallurgiya, 1973. Print. **7.** Konovalov, Yu. V., A. L. Ostapenko and V. I. Ponomarev. *Raschet parametrov listovoj prokatki. Spravochnik.* Moskow: Metallurgiya, 1986. Print.

Поступила (received) 26.10.2015

УДК 621.979

**А. А. КОЛТАКОВА**, студентка, НТУ «ХПІ»;  
**В. Я. ДАНИЛЕНКО**, канд. техн. наук, доц., НТУ;  
**А. Ю. СЕВЕРИН**, студент НТУ «ХПІ»

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ПАДАЮЩИХ ЧАСТЕЙ МОЛОТА ПРИ ШТАМПОВКЕ

В работе рассмотрены возможности проверки технического состояния паровоздушных штамповочных молотов на основе оценки эффективной энергии удара. З переходом заводов из отработанного пара на работу на воздухе, на молотах наблюдается падение производительности и снижение энергии полного удара на 12 ... 17%. Это приводит к необходимости нанесения дополнительного количества ударов, что приводит к перерасходу энергоносителя из-за чего происходит износ деталей как молота так и штампа. В работе проведены расчеты энергии удара для четырех типов молотов. Полученные результаты показали, что для расчетов необходимо учитывать действительный ход падающих частей. По полученным результатам предложен алгоритм проверки состояния паровоздушных молотов.

**Ключевые слова:** молот, падающие части, энергия удара, действительный ход падающих частей, экономическая эффективность, энергоноситель.

**Введение.** Типоразмер штамповочного молота можно выбрать, пользуясь зависимостями и номограммами из справочника «Ковка и штамповка», том 2, под редакцией Е.И. Семенова [1] и другой аналогичной литературы. Такой