

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.

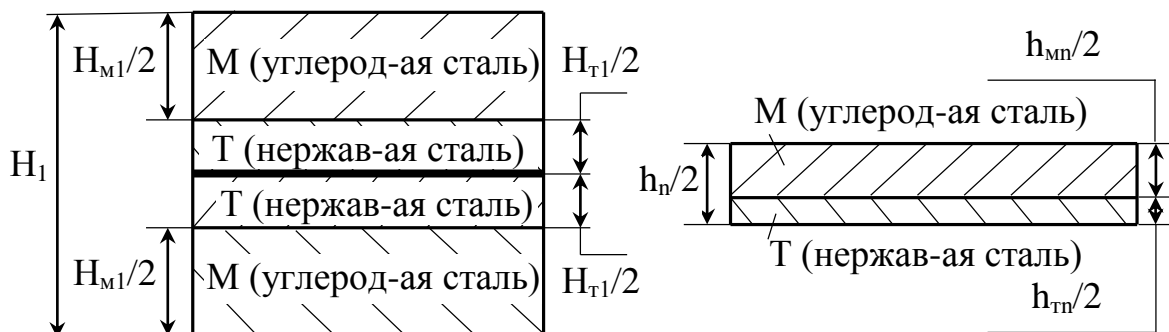


Рис. 1 – Схема толщин исходного 4-х слойного пакета (слева) и готового двухслойного листа (справа)

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 σ_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} ; ε – условная относительная деформация (обжатие), в долях единицы; t – температура, °С. Для стали Ст.3сп при базовых значениях ($u = 1 c^{-1}$, $\varepsilon = 0,1$, $t = 1000^\circ\text{C}$) σ_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]) σ_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 ΔH_{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 ΔH_{m2} ;

7) вычисляются для третьего прохода значения H_{m3} , B_3 (H_{m3}/H_3) и ΔH_{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 / Беньковский 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: Uchebnoe 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