

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОБЖАТИЙ ПРИ ПРОКАТКЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТОВ ИЗ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Загорянский В. Г., Загорянский О. В.

При прокатке широких листов из высоколегированных сталей толщиной менее 13–15 мм приходится применять пакетную прокатку этих листов между листами из углеродистой стали. При прокатке многослойных пакетов возникает задача минимизации неравномерности деформации слоев. В статье проанализированы закономерности и особенности пакетной прокатки широких листов из высоколегированных сталей толщиной менее 13–15 мм. В основу предлагаемой расчетной методики положены известные закономерности пакетной прокатки и принятые допущения. Предлагаемая расчетная методика позволяет назначать исходные и конечные размеры пакета и слоев и рациональные режимы обжатий на основе их соответствия определенным диапазонам относительной деформации пакета при прокатке.

При плющенні широких листів із високолегованих сталей товщиною менше 13–15 мм доводиться застосовувати пакетне плющення цих листів між листами з вуглецевої сталі. При плющенні багат шарових пакетів виникає задача мінімізації нерівномірності деформації шарів. В статті проаналізовані закономірності й особливості пакетного плющення широких листів із високолегованих сталей товщиною менше 13–15 мм. В основу запропонованої методики покладені відомі закономірності пакетного плющення та прийняті припущення. Запропонована розрахункова методика дозволяє призначати початкові і кінцеві розміри пакету і шарів і раціональні режими обтискань на основі відповідності їх певним діапазонам відносної деформації пакету при плющенні.

When rolling wide sheets of high-alloy steels with thickness less than 13–15 mm has to apply pack rolling of the sheets between sheets of carbon steel. When rolling multi-layered packs a problem arises of minimizing uneven deformation. The paper analyzed the regularities and features pack rolling of wide sheets of high-alloy steels with thickness less than 13–15 mm. In the basis of the proposed method, known regularities of pack rolling and assigned assumptions are grounded. The proposed calculation method allows assigning initial and final dimensions of the package and layers and rational modes of wringing out based on their accordance with the certain ranges of a relative deformation of the package at the rolling.

Загорянский В. Г.

канд. техн. наук, докторант КрНУ

zagor_vlad@ukr.net

Загорянский О. В.

студент НТУУ «КПИ»

КрНУ – Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского, г. Кременчуг;

НТУУ «КПИ» – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев.

УДК 621.771.8: 621.7.01

Загорянский В. Г., Загорянский О. В.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОБЖАТИЙ ПРИ ПРОКАТКЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТОВ ИЗ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Получение сталей и сплавов с заданными высокими значениями специальных свойств, на которых основана современная техника, таких как прочность и стойкость, в том числе при высоких температурах, антикоррозионные, электрические, магнитные и другие свойства, стало возможным, главным образом, с помощью современных методов соответствующего высокого легирования, а также последующей пластической деформации и термической обработки этих сталей и сплавов.

Высокое содержание легирующих элементов в сталях и сплавах специального назначения приводит к технологическим трудностям при их деформировании, вызванным их пониженной пластичностью при высоких температурах, повышенным сопротивлением пластической деформации, более узким температурным интервалом пластичности и пластической деформации, большей склонностью к образованию внутренних трещин и разрывов при ковке и прокатке, большей склонностью к деформационному разогреву и перегреву в процессе деформирования [1].

Главной причиной худшей деформируемости высоколегированных сталей и сплавов по сравнению с углеродистыми или легированными конструкционными сталями является уменьшение их пластичности. Такой вид потери пластичности встречается обычно при деформировании заготовок из высоколегированных сталей и сплавов и практически не встречается при деформировании углеродистых или обычных легированных конструкционных сталей, что объясняется тем, что высокое легирование обуславливает затормаживание в поликристаллическом материале внутризеренного скольжения [1].

Применение процесса прокатки для деформирования высоколегируемых сталей и сплавов лимитируется наличием значительных продольных растягивающих напряжений, приводящих к образованию поперечных разрывов в прокатываемой заготовке, а также интенсивным разогревом и перегревом осевой зоны прокатываемой заготовки из сплавов с высоким сопротивлением деформации при использовании обычных скоростей прокатки.

Указывается [2], что обычной однослойной прокаткой (непрерывный широкополосный стан 1450 Магнитогорского металлургического комбината, непрерывный широкополосный стан 1680 металлургического комбината «Запорожсталь» [3]) широких листов из сплавов со сложным химическим составом и высоким сопротивлением деформации не удастся получить толщины менее 13–15 мм.

Способом получения меньшей толщины широких и высокопрочных листов из сталей со сложным химическим составом является их горячая прокатка в наборных пакетах (верхний и нижний слои – слябы обычной углеродистой стали, а в середине – три листа высоколегированной стали) [2]. Листы тщательно покрываются специальной смазкой для предотвращения их сваривания между собой. Верхний и нижний слябы с зазором приваривают к уложенным по сторонам пакета брускам. Пакет укрепляют на торцах скобками, чтобы сохранить его до конца прокатки.

Проблема минимизации влияния неравномерной послойной деформации при прокатке, в том числе биметаллических листов, была рассмотрена ранее в работах [4–7]. Отметим ограниченный объем информации по особенностям и расчету режимов прокатки пакетов с высоколегированными сталями и сплавами.

Точный расчет обжатий слоев таких пакетов осуществить весьма трудно, в связи, с чем возникает необходимость в базирующихся на определенных допущениях рекомендациях (расчетной методике), позволяющих рассчитывать исходные и конечные размеры пакета и слоев и назначать рациональные режимы обжатий на основе их соответствия определенным диапазонам относительной деформации пакета при прокатке.

Цель работы – разработка расчетной методики по назначению исходных толщин листов в пакете перед прокаткой и режимов обжатий пакета при прокатке многослойных пакетов из высоколегированных сталей, базирующихся на определенных допущениях, связанных с неравномерностью обжатий каждого листа.

Изложение основных материалов. Обозначим исходную общую толщину пакета H_n ; $H_{yв}$ и $H_{yн}$ – толщину верхнего и нижнего слябов пакета (углеродистая сталь); $H_в$, $H_с$, $H_н$ – соответственно толщину верхнего, среднего и нижнего листов из высоколегированной стали в исходном пакете. Обозначим общую толщину пакета после прокатки h_n , толщину верхнего и нижнего слябов пакета (углеродистая сталь) после прокатки – $h_{yв}$ и $h_{yн}$, толщину каждого листа из высоколегированной стали после прокатки – h .

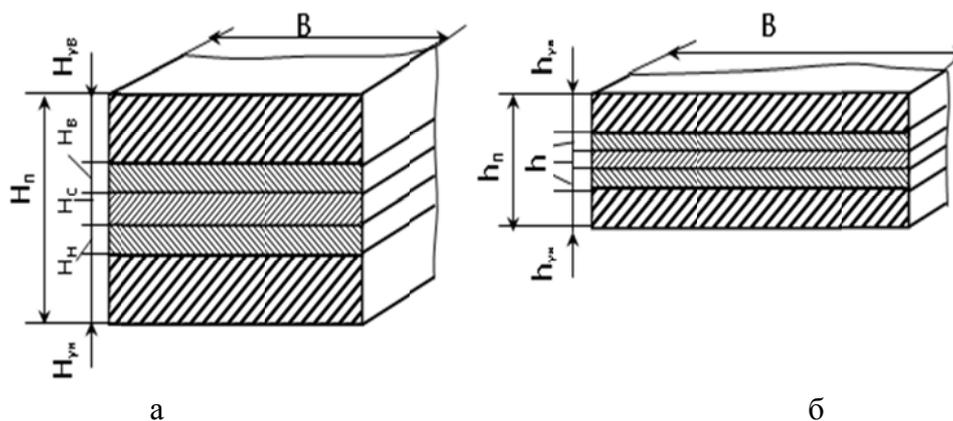


Рис. 1. Толщины пакета из двух слябов и трех листов:
а – до прокатки; б – после прокатки

В соответствии с общими положениями расчета обжатий [2], можно решить две задачи: определить начальную толщину листа по его конечной толщине и определить конечную толщину листа по его начальной толщине листа при данной относительной деформации всего пакета ε_n .

Требования производства задают значение толщин h высоколегированных листов после прокатки пакета. Остальные параметры для расчета размеров пакета и режима обжатий предлагается задавать в такой последовательности:

– задать долю высоколегированных листов в пакете по толщине после прокатки (по литературным данным [2] близка к 0,4):

$$a = \frac{3h}{h_n}, \quad (1)$$

– назначить относительное обжатие пакета ε_n , %:

$$\varepsilon_n = \frac{H_n - h_n}{H_n} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{h_n}{H_n}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{h_{yв} + 3h + h_{yн}}{H_{yв} + H_в + H_с + H_n + H_{yн}}\right) \cdot 100\% \quad (2)$$

Значение относительной деформации всего пакета ε_n является средним и может быть использовано для определения толщины каждого листа после прокатки. По литературным данным [2] $\varepsilon_n = 0,7-0,75$.

Общая толщина пакета после прокатки в соответствии с (1):

$$h_n = \frac{3h}{a}, \quad (3)$$

откуда легко получить толщину каждого из углеродистых слоев после прокатки:

$$h_{y\phi} = h_{y\psi} = \frac{h_n - 3h}{2} \quad (4)$$

Толщина исходного пакета (по зависимости (2)):

$$H_n = \frac{h_n}{1 - \varepsilon_n} \quad (5)$$

Важным фактором расчета является коэффициент высотной деформации [2]. Для всего пакета он составит:

$$\eta_n = \frac{H_n}{h_n} = \frac{H_{y\phi} + H_\phi + H_c + H_n + H_{y\psi}}{h_{y\phi} + 3h + h_{y\psi}} \quad (6)$$

Соответственно коэффициент высотной деформации каждого листа высоколегированной стали будет равен:

$$\eta_l = \frac{H_B}{h} = \frac{H_C}{h} = \frac{H_H}{h} \quad (7)$$

Указывается [2], что в уравнение (7) правильнее ставить не знаки равенства (как для идеального случая, когда каждый лист подвергается одинаковой деформации), а знаки «приблизительно равно», так как одна лишь неравномерность нагрева пакета, следовательно, каждого листа приводит к разным условиям деформации.

Примем, что коэффициент высотной деформации каждого листа высоколегированной стали равен коэффициенту высотной деформации всего пакета. Тогда

$$H_B = H_C = H_H = \eta_l \cdot h = \eta_n \cdot h. \quad (8)$$

Исходная толщина каждого сляба углеродистой стали:

$$H_{y\phi} = H_{y\psi} = \frac{H_n - 3H_{B(C,H)}}{2}. \quad (9)$$

Проверку осуществляем по следующим зависимостям. Относительная деформация каждого листа:

$$\varepsilon_l = \frac{H_{B(C,H)} - h}{H_{B(C,H)}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

Конечная толщина каждого листа:

$$h = H_{H(B,C)}(1 - \varepsilon_l) = h_{H(B,C)} \left(1 - \frac{\varepsilon_n}{k} \right), \quad (11)$$

где k – коэффициент, связывающий относительные деформации всего пакета ε_n и каждого листа ε_l [2]:

$$k = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_l}. \quad (12)$$

Эти величины должны быть равны исходным данным и принятым величинам.

Пример назначения режимов обжатий при прокатке пакетов из трех высоколегированных листов и двух слябов углеродистой стали приведен в работе [2] (указывается, что приведены примерные обжатия для ориентировочного составления обжатий при прокатке пакетов).

В примере требуемые толщины высоколегированных листов $h = 5,5$ мм, исходные толщины этих листов $H_\phi, H_c, H_n = 20$ мм, исходные толщины слябов из углеродистой стали – $H_{y\phi}, H_{y\psi} = 50$ мм, общая исходная толщина пакета $H_n = 160$ мм, толщина пакета после прокатки $h_n = 43,5$ мм.

Диаметр прокатных валков $D = 2R = 1250$ мм. Значения фактора формы по проходам рассчитывались по зависимости:

$$\left(\frac{l}{h_{cp}} \right)_i = \frac{2\sqrt{R\Delta H_i}}{H_i + h_i}, \quad (13)$$

где i – номер прохода; ΔH_i – абсолютное обжатие пакета в проходе i , $\Delta H_i = H_i - h_i$; H_i и h_i – толщина пакета до и после прохода i .

Относительная деформация пакета по проходам рассчитывалась по зависимости:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta H_i}{H_i}. \quad (14)$$

Прокатывались листы из высоколегированной стали, содержащей 0,41–0,48 % С; 0,9–1,2 % Si; 0,75–1,0 % Mn; 1,5–2,0 % Cr; 0,5–0,8 % Ni; 0,4–0,6 % Mo; 0,03–0,08 % V. Такой химический состав наиболее близок по межгосударственному стандарту ГОСТ 4543-71 «Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия» к составу хромокремнемарганцовоникелевой стали 30ХГСНА (0,27–0,34 % С; 0,9–1,2 % Si; 1–1,3 % Mn; 0,9–1,2 % Cr; 1,4–1,8 % Ni). К сожалению, в работе [2] не указана марка углеродистой стали слябов прокатываемого пакета.

Режим обжатий по этому примеру можно представить в виде упрощенной методики:

– в первых двух проходах обжатия принимаются так, чтобы относительная деформация составляла около 4 %;

– в последующих проходах, за исключением трех, относительная деформация по проходам принимается близкой к 10 %. В трех проходах относительная деформация составляет 12–14 %;

– значения фактора форма l/h_{cp} практически монотонно возрастают, за исключением 3-х последних проходов (рис. 2).



Рис. 2. Значения фактора формы l/h_{cp} по проходам (по данным [2])

Обработка результатов зависимости отношения l/h_{cp} от номера прохода показывает, что имеет место линейная регрессия (x – номер прохода, y – l/h_{cp}):

$$y = 0,0689 + 0,373x. \quad (15)$$

На основе вышеизложенного предлагается упорядочить расчетную методику [2], назначая во всех проходах, начиная с третьего, такие обжатия, которые бы давали относительную деформацию в проходе, близкую к 10 %.

Приняв эти данные за основу, можно рассчитывать обжатия по проходам для аналогичных случаев прокатки. Например, рассмотрим случай для следующих исходных данных: требуемая толщина высоколегированных листов после прокатки $h = 6$ мм; $a = 40$ %; $\varepsilon_{п} = 75$ %. Диаметр валков и марку прокатываемой высоколегированной стали принимаем по примеру расчета, приведенному в работе [2].

Расчет толщин по вышеприведенной методике не представляет трудностей. Результаты: $h_{\Pi} = 45$ мм; $h_{vB} = h_{vH} = 13,5$ мм; $H_{\Pi} = 180$ мм; $H_B, H_C, H_H = 24$ мм; $H_{vB}, H_{vH} = 54$ мм.

Результаты назначения режимов обжатий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы обжатий пакета по предлагаемой методике

Номер прохода	H_i , мм	h_i , мм	Δh_i , мм	$\varepsilon = 100 \cdot \Delta h_i / H_i$, %	l/h_{cp}
1	180	172	8	4,44	0
2	172	164	8	4,65	0
3	164	148	16	9,76	0
4	148	132	16	10,81	0
5	132	118	14	10,61	0
6	118	106	12	10,17	0
7	106	96	10	9,43	0
8	96	86	10	10,42	0
9	86	78	8	9,30	0
10	78	70	8	10,26	0
11	70	62	8	11,43	1
12	62	56	6	9,68	1
13	56	50	6	10,71	1
14	50	45	5	10,00	1

Отметим, что при увеличении общей толщины пакета на 20 мм по сравнению с данными примера работы [2], при использовании предлагаемой упорядоченной методики количество необходимых проходов увеличивается с 13 до 14.

ВЫВОДЫ

Расчет обжатий при неоднородном химическом составе стали осуществить с высокой точностью весьма трудно, поэтому для апробации предлагаемой методики необходимы подтверждающие ее экспериментальные исследования прокатки пакетов из различных сталей. Предлагаемая методика, в том числе в части рекомендаций по назначению режимов обжатий пакета, составленного из трех внутренних высоколегированных листов и наружных слябов из углеродистой стали, в случае ее экспериментального подтверждения позволит повысить эффективность технологической подготовки прокатки листов из высоколегированных сталей, что значительно снизит затраты на их производство.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дзугутов М. Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М. Я. Дзугутов. – М. : Металлургия, 1977. – 480 с.
2. Литовченко Н. В. Станы и технология прокатки листовой стали / Н. В. Литовченко. – М. : Металлургия, 1979. – 272 с.
3. Прокатные станы. Справочник. В 3-х томах. Т. 3. Листопрокатные станы и профилегированные агрегаты / В. Г. Антипин, Д. К. Нестеров, В. Г. Кизиев [и др.] – М. : Металлургия, 1992. – 428 с.
4. Шабалов И. П. Ресурсосберегающие технологии производства толстолистового проката с повышенными потребительскими свойствами / И. П. Шабалов, З. К. Шафигин, А. Н. Муратов. – М. : Металлургияиздат, 2007. – 352 с.
5. Луценко В. А. Математическое моделирование процесса прокатки биметаллических листов / В. А. Луценко // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії та машинобудуванні. Тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДГМА. – 2003. – С. 93–95.
6. Максимов Е. А. Улучшение плоскостности прокатываемых полос / Е. А. Максимов – Металлургические процессы и оборудование. – 2005. – № 2. – С. 22–28.
7. 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.

Статья поступила в редакцию 30.09.2014 г.