

УДК 621.002.3: 621.777

Роль развиваемых сдвиговых деформаций при реализации способа термомодеформационной переработки сортной стружки цветных металлов и сплавов

Н.Н. Загиров*, Е.В. Иванов, А.А. Роговой
*Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

Received 15.05.2013, received in revised form 22.05.2013, accepted 31.05.2013

В рамках описания общей схемы изготовления пресс-изделий и проволоки из сортной сыпучей стружки цветных металлов и сплавов, исключаяющей в технологической цепочке плавильный передел, рассмотрена роль операций горячего брикетирования и экструзии. Проанализированы и опробованы на конкретных примерах некоторые из возможных способов интенсификации сдвиговых деформаций при их осуществлении. Установлено, что формирование окончательных типоразмеров и требуемых свойств получаемой продукции происходит на этапе выполнения операции холодного волочения и термообработки.

Ключевые слова: сортная сыпучая стружка, технологическая схема, брикетирование, экструзия, скручивание, волочение, отжиг.

Обеспечение четкой организации работ по сбору стружковых отходов в местах их образования, а также проведение необходимых мероприятий по удалению, складированию и их хранению позволяют в некоторых случаях использовать сыпучую стружку как базовый материал для получения продукции, не уступающей по своим характеристикам изделиям из компактных металлов и сплавов и отвечающей требованиям соответствующих ГОСТов или ТУ. Так, например, при получении тянутых прутков и проволоки круглого поперечного сечения с использованием в качестве исходного сырья сортных сыпучих стружковых отходов цветных металлов и сплавов общая схема изготовления такого рода продукции, исключаяющая в технологической цепочке плавильный передел, предполагает последовательное выполнение операции брикетирования, экструзии и волочения. Каждая из операций в зависимости от своего назначения осуществляется при определенном сочетании температурно-деформационных параметров и является в той или иной мере обязательным звеном в формировании требуемых структуры и свойств конечного изделия [1]. Практически интенсификация деформационных процессов может осуществляться на любом из этапов обработки, однако наибольший эффект, по-видимому, будет достигнут, если инициировать дополнительные сдвиговые деформации на

стадиях получения промежуточного продукта, т.е. при выполнении операций горячего брикетирования и горячей экструзии.

В первом случае это связано с тем, что при брикетировании под действием приложенной нагрузки в основном будет происходить лишь механическое соприкосновение уплотняемых компонентов, сопровождающееся некоторым разрушением окисной пленки, покрывающей поверхности частиц стружки. При этом для обеспечения необходимого, достаточно высокого, уровня плотности промежуточной заготовки компактирование стружки в брикеты, как правило, производится при температурах, превышающих температуру начала рекристаллизации металла стружки или компонента, составляющего основу механически сформированной стружковой смеси, а величина прикладываемого давления горячего брикетирования должна быть не ниже значений предела текучести материала при выбранной температуре обработки.

Следующая стадия – активация процессов на поверхности частиц и в объеме стружковой массы в целом – будет преобладать уже на этапе горячей экструзии, представляющей собой операцию, при которой происходит истечение материала, помещенного в контейнер, под воздействием давящего на него рабочего инструмента – пуансона в открытое отверстие – очко матрицы. Вместе с тем необходимо учитывать, что для обеспечения достаточно высокого уровня механических свойств получаемых пресс-изделий коэффициент вытяжки при экструзии должен составлять от 50 и выше. Реализация таких значений вытяжки сопровождается значительным уменьшением поперечного сечения исходного брикета, поэтому практически осуществимы они в основном при производстве изделий небольшого сечения.

Следует отметить, что устойчивость формирования межчастичного твердофазного соединения при развитых пластических деформациях во многом определяется характером протекания так называемого [2] процесса обновления контактных поверхностей частиц. Качественного усиления его можно достичь введением перед осуществлением процесса экструзии или в ходе его дополнительных очагов деформации, в которых обновлению поверхности подвергаются плоскости, перпендикулярные направлению последующего выдавливания металла через матрицу. В частности, такие условия создаются, если непосредственно перед выдавливанием производить предварительную осадку (распрессовку) брикета, что, в принципе, почти всегда и происходит на практике. Это связано с тем, что для облегчения ввода брикета в рабочую зону контейнера диаметр его делают меньше диаметра внутренней втулки контейнера на 3÷5 мм. Несмотря на часто наблюдающуюся при этом эксцентричность положения брикета относительно оси контейнера, процесс обновления поверхности на начальном этапе экструзии будет протекать в полной мере, а количественно он характеризуется коэффициентом распрессовки. Усиливающего эффекта можно добиться, если в процессе распрессовки одновременно производить скручивание заготовки в контейнере за счет вращения верхнего пуансона относительно неподвижных контейнера с матрицей. Такой подход предполагает применение специализированного гидравлического пресса, оснащенного независимым приводом вращения одной из рабочих плит. При реализации указанной схемы достижению высокого уровня дополнительных сдвиговых деформаций препятствует явление тангенциального проскальзывания металла относительно вращающегося пуансона. Поэтому угол скручивания заготовки всегда будет меньше угла поворота пуансона, а фактическая сдвиговая деформация будет оцениваться по углу поворота φ одного торца заготовки относительно другого [3].

Сообщение материалу дополнительных сдвиговых деформаций можно осуществить и непосредственно на стадии горячей экструзии брикетов через матрицу. При этом возможно несколько схем практической реализации, из которых наиболее очевидным является вариант, предполагающий продавливание металла заготовки через неподвижную матрицу специальной конструкции с одновременным скручиванием выпрессовываемого прутка вокруг своей оси. Эффект скручивания достигается за счет выполнения на калибрующем участке матрицы нескольких неглубоких проточек в виде винтовых линий с определенными шагом и углом подъема. Прутки после выдавливания через такую матрицу имеют рифленую рабочую поверхность, а величина дополнительной сдвиговой деформации соответствует тангенсу угла подъема винтовых линий.

Вместе с тем очевидно, что с точки зрения общего уровня сообщаемой материалу деформации, для оценки которого чаще всего используют величину степени деформации сдвига Λ , эффект от применения перечисленных выше схем будет все же не сопоставим с величиной Λ непосредственно при экструзии, которая для осесимметричной схемы деформации рассчитывается по формуле

$$\Lambda = \sqrt{3} \ln \mu = \sqrt{3} \ln \frac{D_{\text{конт}}^2}{d_{\text{изд}}^2}.$$

При этом с точки зрения воздействия на формирование структуры и свойств прессуемого прутка и получаемой последующим волочением проволоки дополнительный сдвиг определенное влияние оказывать должен.

Материалом, на котором решено было провести практическое опробование упомянутых выше схем инициирования сдвиговых деформаций в ходе изготовления прутково-проволочной продукции из стружковых отходов, была выбрана сортная сыпучая стружка меди марки М1, образующаяся при резке прессованных прутков из указанной марки меди на ленточной пиле. Для некоторого расширения области проведения исследований как вариант в роли компактируемой сыпучей массы использовали стружковую смесь меди с цинком, полученную механическим смешиванием компонентов в пропорции 90:10 (%, по массе). Ориентиром в последнем случае служила простая (двойная) латунь марки Л90.

Конечным изделием при выполнении работы была принята холоднотянутая проволока диаметром 3 мм. Ставилась задача выявить основные особенности поведения исследуемых материалов при осуществлении ключевых технологических операций в ходе изготовления проволоки, отметить общие закономерности формирования ее структуры и свойств, а также провести сопоставление уровня достигнутых механических характеристик с уровнем свойств продукции, получаемой традиционным способом из литых заготовок меди и латуни Л90.

Структурная технологическая схема, согласно которой проводили изготовление проволоки как из стружки чистой меди, так и стружковой смеси меди с цинком, а также наименования и параметры осуществления основных ее операций приведены на рис. 1.

По одному из вариантов, как уже отмечалось выше, интенсификация сдвиговых деформаций заключалась в применении при горячем брикетировании схемы сжатия брикета в контейнере с одновременным приложением крутящего момента. Для ее реализации была сконструирована и изготовлена инструментальная оснастка, отличительной особенностью которой

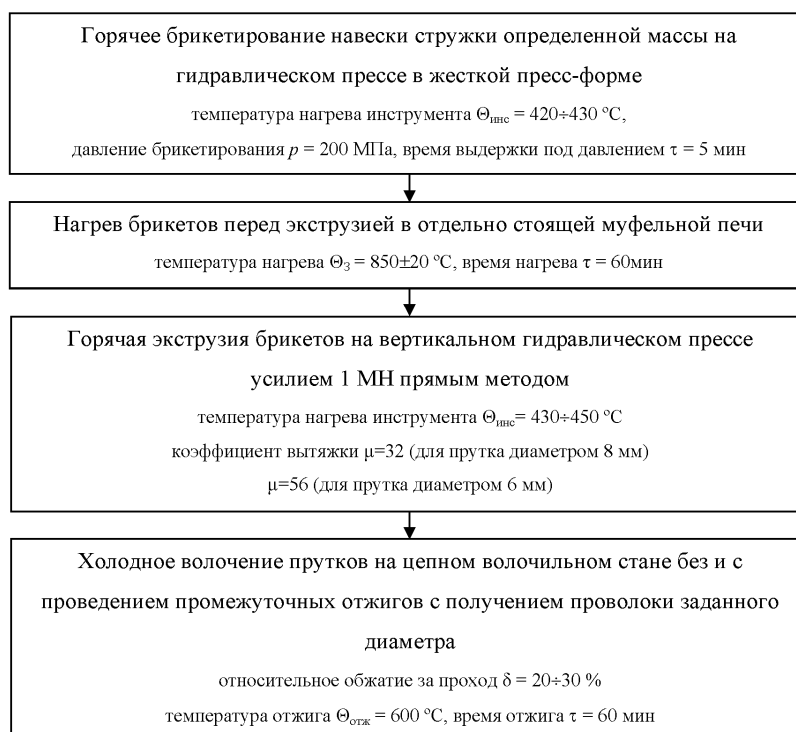


Рис. 1. Технологическая схема получения проволоки из стружковых материалов

являлось выполнение на рабочих торцах пуансонов специальных насечек в виде радиальных канавок, чередующихся с выступами трапециевидного профиля с перепадом высот 2 мм (рис. 2). Внешний вид прессовок после деформирования с ее помощью также приведен на рис. 2.

Нижний пуансон 3 замковым соединением жестко сцеплен с контейнером 1. Верхний пуансон 2 и нижний пуансон 3 опираются, соответственно, на верхнюю 6 и нижнюю 7 опорные плиты, которые болтами прикреплены к бойкам универсальной испытательной машины LFM усилием 400 кН (рис. 3). Машина снабжена торсионным приводом с максимальным крутящим моментом 1000 Н·м, установленным на верхней подвижной траверсе с возможностью вращения на угол $\pm 180^\circ$. Проворот верхнего пуансона 2 и нижнего пуансона 3 относительно опорных плит предотвращается с помощью шпонок 4 и 5, входящих в пазы, выполненных в опорных плитах.

Скручивание брикетов проводили при усиллии испытательной машины, соответствующем напряжению сдвигания p , равному 80, 120 и 200 МПа. Угол поворота пуансона α задавали равным 90° . Рабочую боковую поверхность контейнера смазывали консистентной смазкой на графитовой основе с добавлением дисульфида молибдена MoS_2 . Относительный сдвиг торцов оказался возможным только при $p = 120$ МПа, причем хотя поворот пуансона и произошел на заданный угол, величина Λ , подсчитываемая как тангенс угла наклона риски, первоначально нанесенной на недеформированный образец параллельно образующей, составила всего лишь 0,25. Это можно объяснить тем, что при $\alpha > 45^\circ$ происходит локализация деформации в приконтактном слое, приводящая к срезу металла по выступам рифлений на пуансоне. Такое явление

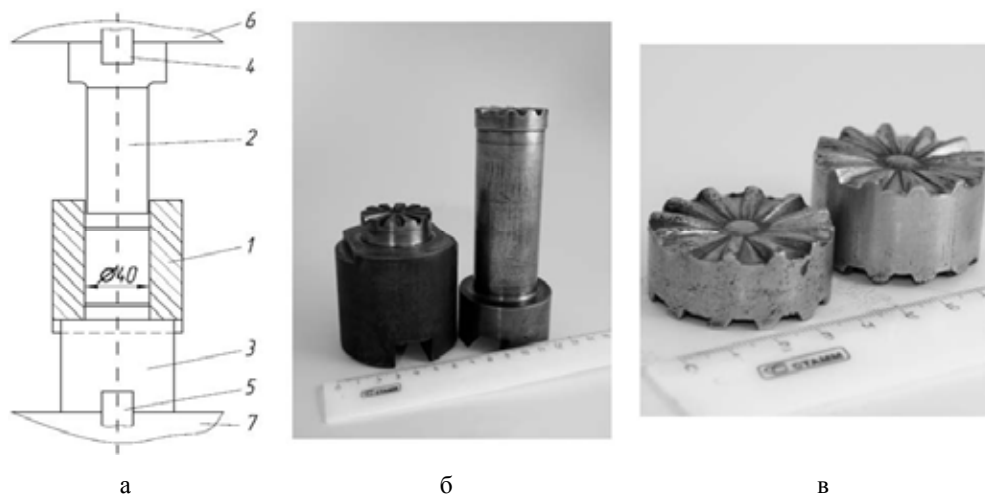


Рис. 2. Схема устройства (а), внешний вид пуансонов (б) и образцы прессовок (в) при реализации схемы сжатия с кручением брикетов из стружки



Рис. 3. Общий вид и пульт управления универсальной испытательной машины LFM усилием 400 кН

обусловлено значительной степенью деформации, получаемой приконтактным слоем металла, во-первых, еще до закручивания при внедрении рифлений пуансона в брикет, а во-вторых, при некотором неизбежном перетекании металла по выступам и впадинам в результате скольжения металла по инструменту, сопровождающим процесс скручивания заготовки.

По другому варианту эффект дополнительного скручивания достигался за счет применения при горячей экструзии матрицы с выполненными на калибрующем участке ее несколькими неглубокими проточками в виде винтовых линий с шагом 5 мм и углом подъема $\varphi = 20^\circ$, что соответствовало величине $\Lambda = \operatorname{tg}\alpha = 0,36$ (рис. 4). Прутки после выдавливания через такую матрицу также приведены на рис. 4.



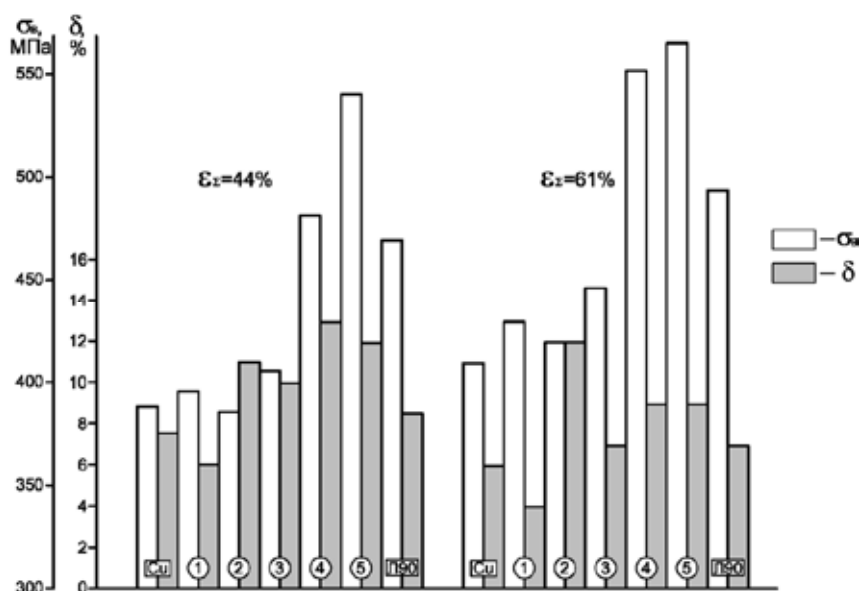
Рис. 4. Внешний вид матриц (а) с выполненными на калибрующем участке винтовыми проточками и образцы прутков (б), полученных с их применением

Последующее волочение во всех случаях проводили в идентичных условиях. При этом после протяжки прутков до диаметра 6 мм их делили на две части, одну из которых отжигали при температуре 600 °С в течение одного часа, а вторую – термообработке не подвергали. Далее обе части дотягивали до конечного диаметра 3,3 мм. Параллельно для оценки текущего уровня механических характеристик проволоки на определенных диаметрах осуществляли отбор образцов, которые в дальнейшем подвергали растяжению до разрыва на универсальной испытательной машине с использованием стандартных методик согласно ГОСТ 1497-84.

На рис. 5 с учетом величины суммарного относительного обжатия ε_{Σ} приведены средние для трех испытанных для каждого случая образцов значения временного сопротивления разрыву σ_B и относительного удлинения δ проволоки, изготовленной с использованием стружки чистой меди и стружковой смеси меди с цинком по различным вариантам осуществления отдельных операций общей единой технологической схемы (см. рис. 1). Для сравнения на этой же диаграмме указаны заимствованные из справочника [4] значения тех же показателей при холодной обработке компактной меди М1 и латуни Л90. Хотя проводить сопоставление представленных на рис. 5 данных не совсем корректно, определенные обобщения на основании их анализа сделать можно.

Проволока, полученная из стружки меди, при любой величине суммарного относительного обжатия по своим характеристикам находится примерно на уровне свойств продукции, изготовленной при тех же степенях деформации из компактной меди. При $\varepsilon_{\Sigma} = 40 \div 45 \%$ по прочности он соответствует величине временного сопротивления разрыву $\sigma_B = 380 \div 400$ МПа, а по пластичности – величине относительного удлинения $\delta = 8 \div 10 \%$. При $\varepsilon_{\Sigma} = 60 \div 65 \%$ эти значения составляют соответственно $\sigma_B = 410 \div 430$ МПа, а $\delta = 5 \div 7 \%$.

При этом четко прослеживается тот факт, что дополнительный сдвиг за счет скручивания заготовки при брикетировании стружки приводит к некоторому снижению (примерно на 2÷3 %) прочностных свойств получаемой в итоге из отпрессованного прутка проволоки с одновременным повышением в 2÷3 раза ее пластических характеристик. Принудительное же скручивание прутка непосредственно в ходе экструзии способствует в дальнейшем повышению как прочностных (на 2÷4 %), так и пластических (в 1,5÷2,0 раза) свойств материала проволоки.



Cu – из компактной меди по обычной схеме; 1 – из стружки меди по обычной схеме; 2 – из стружки меди со скручиванием при брикетировании; 3 – из стружки меди со скручиванием при экструзии; 4 – из стружковой смеси 90 % Cu + 10 % Zn по обычной схеме; 5 – из стружковой смеси 90 % Cu + 10 % Zn со скручиванием при экструзии; Л90 – из компактной латуни Л90 по обычной схеме

Рис. 5. Сравнительная диаграмма механических характеристик холодноотянутой проволоки, полученной из различных материалов на медной основе с разной величиной суммарного относительного обжатия

Проволока, изготовленная из стружковой смеси меди с цинком, имеет, как и следовало ожидать, более высокий уровень механических характеристик по сравнению с проволокой, полученной из стружки чистой меди. Превышение по временному сопротивлению разрыву, независимо от величины суммарного относительного обжатия, стабильно составляет 20÷30 %, а по относительному удлинению изменяется с 2÷2,5 раз при $\epsilon_z = 44$ % до 1,2÷1,3 раз при $\epsilon_z = 61$ %. Кроме того, значения σ_b стружковой проволоки из исследуемой смеси превосходят при тех же степенях деформации уровень прочностных свойств холоднодеформированной продукции из компактной латуни Л90 в среднем на 10÷15 %, а значения δ – уровень пластических свойств продукции примерно на 30÷50 %. При этом по прочности верхние пределы этого диапазона приходятся на проволоку, полученную по схеме с дополнительным скручиванием прутка при горячей экструзии, в то время как по пластичности эта зависимость в большей степени все-таки обратная. Заметим, что по справочным данным, которые приведены в специальной литературе [4], прочностные характеристики холоднодеформированных изделий из компактной латуни Л90 превосходят указанные характеристики изделий из компактной меди в среднем на 20÷25 %, а пластические характеристики выше у латуни Л90 в среднем на 15÷20 %.

Выводы

1. Технологическая схема изготовления полуфабрикатов и изделий непосредственно из стружки, являющаяся при соблюдении определенных условий альтернативой традиционному

способу переработки стружковых отходов через плавильный передел, включает в большинстве случаев стадии компактирования стружки в брикеты горячей и холодной обработки давлением, эффективность реализации которых определяется температурно-деформационными условиями осуществления каждой из входящих в общую схему операций.

2. При выборе операций горячей обработки давлением скомпактированных из стружки брикетов предпочтение следует отдавать тем из них, что характеризуются большими значениями развиваемых степеней деформации с высоким уровнем сдвиговых деформаций и благоприятной схемой напряженного состояния, среди которых указанным критериям в первую очередь отвечает процесс экструзии (выдавливания) металла через матрицы, рабочее отверстие которых соответствует заданной конфигурации получаемого промежуточного продукта.

3. В тех случаях, когда речь идет об изготовлении круглых в плане полуфабрикатов и изделий (прутков, проволоки), из всех возможных способов интенсификации сдвиговых деформаций наиболее очевидным является вариант, связанный с реализацией в ходе горячего деформирования принудительного их скручивания, однако величина сообщаемой при этом материалу степени деформации сдвига, определяемая углом скручивания, не сопоставима с уровнем сдвиговых деформаций, развиваемых в материале непосредственно в ходе экструзии задаваемым коэффициентом вытяжки, поэтому значимого деформационного эффекта дополнительное скручивание материалу не дает.

Список литературы

[1] *Загиров Н.Н.* // // Энергетика в глобальном мире: сб. тезисов докладов Первого международного научно-технического конгресса. Красноярск: ООО «Версо», 2010. С. 677.

[2] *Корнилов В.Н.* Непрерывное прессование со сваркой алюминиевых сплавов. Красноярск: Изд-во пед. ин-та, 1993. 216 с.

[3] *Богатов А.А., Логинов Ю.Н., Загиров Н.Н.* // Известия вузов. Черная металлургия. 1988. № 12. С. 31.

[4] *Райков Ю.Н., Ашихмин Г.В., Полухин В.П., Гуляев А.С.* Медные сплавы. Марки, свойства, применение: справочник / под ред. Ю.Н. Райков. М.: ОАО «Институт Цветметобработка», 2011. 456 с.

Role of Shear Strain Developed in Thermal Processing of Graded Chip from Non-Ferrous Metals and Alloys

**Nikolay N. Zagirov,
Evgeny V. Ivanov and Anton A. Rogovoy**
*Siberian Federal University
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

The article considers the role of hot briquetting and extrusion as part of the description of general scheme in forming molded articles and wire from graded friable chip of non-ferrous metals and alloys, excluding melting processing. Possible ways of intensification of shear strain are analyzed and tested on specific examples. It is found that the final type-size and the desired properties of the manufactured product are formed at the stage of cold drawing and heat treatment operations.

Keywords: Graded friable chip, production scheme, briquetting, extrusion, torsion, drawing, annealing
