

сложных моментов разработки ГОСТа явилось согласование с профильными предприятиями внедрения 100% УЗК-контроля немагнитных включений в ленте. Включение данного мероприятия в схему производства продукции позволит обеспечить контроль качества ленты по немагнитным включениям, что исключит обрывы полуфабрикатов в патронном производстве. В то же время введение данного положения обязывает предприятия к модернизации оборудования и технологии производства.

В результате работы над стандартом принято ужесточение требований по микроструктуре ленты в части ограничения по максимальному баллу цементита.

Таким образом, в процессе разработки данного стандарта с дополнением на особый период, был учтен весь накопленный с 1980-х годов опыт в сфере производства на металлургических предприятиях холоднокатаных полос и лент из высококачественной стали марок 18ЮА и 11ЮА. В том числе учтены модернизация оборудования и автоматизация процессов производства, совершенствование методов контроля, а именно:

1) переход к высокопроизводительным автоматизированным процессам производства ленты в рулонах вместо полос, который обеспечил существенное увеличение производительности и автоматизации труда как при производстве ленты на металлургических заводах, так и при производстве гильз на патронных заводах;

2) введение предприятиями методик 100 % неразрушающего контроля толщины и расслоений;

3) переход патронных предприятий к производству гильз на автоматических роторных линиях.

Все это позволит стабилизировать качество поставляемой ленты по механическим свойствам и микроструктуре.

Список литературы

1. Виторский Я.М., Иванов Э.А., Белов В.И., Попов В.А., Ханутин А.М. Освоение производства холоднокатаных полос из высококачественной стали марки 18ЮА для производства гильз патронов стрелкового оружия // ЦНИИ материалов – 100 лет на благо России, -Санкт-Петербург, 2012 г.- с. 101-110.

УДК 669.14.018

ГОРЯЧАЯ ЭКСТРУЗИЯ ПОРОШКОВ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

С.А. Мазуров, В.Л. Гиршов

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт материалов», 191014, Санкт-Петербург, ул. Парадная, 8, e-mail: info@cniim.com

Изучена технология горячей экструзии стальных капсул с порошком быстрорежущей стали и титановым геттером. Показано, что горячая экструзия капсул с четырехкратной вытяжкой позволяет получить полуфабрикат порошковой быстрорежущей стали с остаточной пористостью 1 – 3 %. За счет сохранения дисперсной мелкозернистой структуры порошковой быстрорежущей стали при ее дальнейшей пластической деформации методами прокатки иковки удается добиться показателей временного сопротивления при испытаниях на изгиб на уровне 4500–5000 МПа.

Ключевые слова: Порошки, быстрорежущая сталь, экструзия, вытяжка.

С 1970-х годов XX века ЦНИИМ ставилась задача разработать технологию производства порошковых быстрорежущих

сталей (ПБС). В начале 70-х годов была спроектирована, изготовлена и пущена в эксплуатацию опытная установка газового

¹Мазуров Сергей Александрович – кандидат технических наук, начальник лаборатории отдела 123, тел. (812)578-91-08;

²Гиршов Владимир Леонидович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник. отд. 123 АО «ЦНИИМ».



распыления порошков, схема которой показана на рисунке 1. Плавку металла осуществляли в открытой индукционной печи с емкостью тигля 60 кг. Metallический расплав заливали в металлоприемник, из которого расплав поступал в камеру, где под давлением 0,4 – 0,5 МПа распылялся потоком азота (содержание кислорода в азоте не должно было превышать 0,003% по массе). В этой опытной установке на протяжении многих лет получали порошки быстрорежущих сталей, порошки нержавеющей, конструкционных сталей, чугунов, сплавов на основе алюминия, меди, никеля и кобальта. Порошки имели сферическую форму и средний размер частиц около 100 мкм.

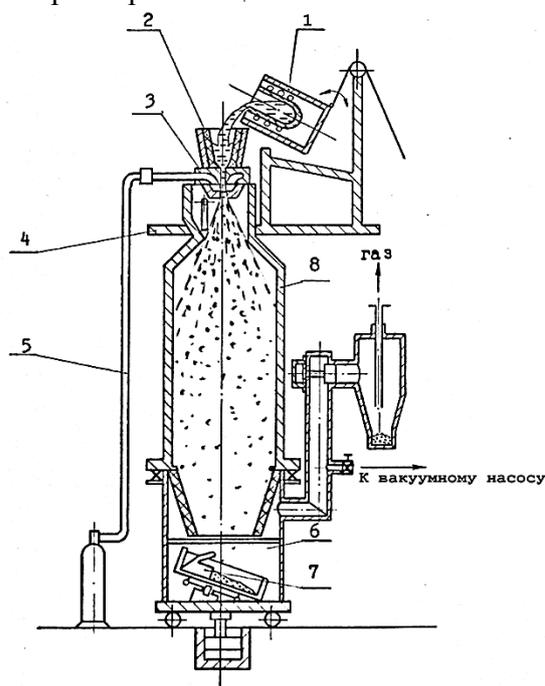


Рисунок 1 – Установка газопыления: 1 – индукционная печь; 2 – литейная воронка; 3 – сопло; 4 – рабочая площадка; 5 – газопровод; 6 – сборник порошка; 7 – устройство перемешивания; 8 – камера распыления

Для переработки порошков в скомпактированные прутки круглого сечения был выбран способ горячей экструзии. Этот способ представляет собой процесс горячего прессования, при котором прессуемая заготовка получается выдавливанием металла из замкнутого объема через отверстие в матрице, как это в схематичном виде показано на рисунке 2. По виду напряженно-деформированного состояния экструзия сопоставима со схемой одноосного прессования, но принципиально отличается от него, а

также от схемы всестороннего сжатия значительными сдвиговыми деформациями в зоне истечения металла.

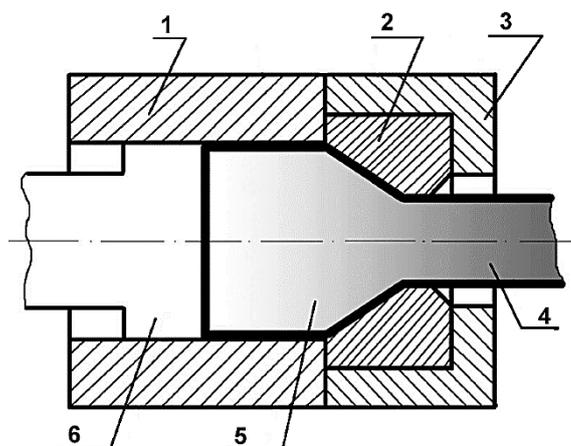


Рисунок 2 – Технологическая схема экструзии: 1 – контейнер пресса; 2 – матрица; 3 – обойма; 4,5 – экструдированная заготовка; 6 – плунжер пресса

Исследовали состав и содержание газов, выделяющихся из порошка при его нагреве под горячую экструзию. Навески порошка помещали в ампулы, вакуумировали, нагревали. При различных температурах отбирали выделяющиеся газы и анализировали их состав масс-спектрометрическим методом. В таблице 1 представлены результаты анализа газов, выделившихся из навески порошка быстрорежущей стали с исходным содержанием кислорода ~ 0,03% по массе.

Таблица 1 – Состав и содержание газов, выделившихся из порошка быстрорежущей стали при нагреве в вакууме

| Температура, °С | Содержание газов, см ³ /100 г | | | | | |
|-----------------|--|------------------|----------------|------|-----------------|------|
| | H ₂ | H ₂ O | N ₂ | CO | CO ₂ | Σгаз |
| 500 | 2,1 | 2,2 | 0,8 | 2,2 | 1,4 | 8,7 |
| 750 | 7,4 | 0,8 | 0,7 | 2,1 | 1,0 | 12,0 |
| 1000 | 5,2 | 0,1 | 12,3 | 30,8 | - | 48,4 |
| 1100 | 6,5 | - | 3,0 | 10,6 | - | 20,1 |
| Итого: | 21,2 | 3,1 | 16,8 | 45,7 | 2,4 | 89,2 |

Как видно из приведенных данных, основная масса кислорода содержится в оксиде углерода, который выделяется, в основном, при температурах 1000 – 1100 °С. Сопоставление данных анализа с термодинамическими характеристиками

восстановления оксидов углеродом указывает на то, что в составе оксидной пленки на поверхности порошковых частиц преобладает оксид хрома. Этот оксид восстанавливается углеродом в вакууме, начиная с 900°C. При вакуум-термической дегазации с температурой 750°C восстановление оксида хрома не происходит, что наглядно подтверждают экспериментальные результаты таблицы 1.

Для устранения оксидной пленки в структуре компактной быстрорежущей стали в ЦНИИМ разработан способ горячей экструзии порошков с титановым геттером (а.с. №884859, 1980). Геттер в форме пористой титановой губки размещается вместе с порошком в капсуле. Далее капсула герметизируется без откачки воздуха. Это значительно упрощает и удешевляет подготовку капсул. При последующем нагреве капсул с порошком под экструзию титановый геттер поглощает воздух, оставшийся в капсуле, создавая в ней вакуум. В вакууме при 1000 – 1100°C интенсифицируется процесс восстановления оксидов углеродом. Воздух и образовавшийся при восстановлении оксид углерода поглощается титановым геттером. В результате формируется чистая поверхность частиц порошка и они прочно свариваются друг с другом в процессе экструзии.

Опытные партии прутков диаметром 30-40 мм получали экструзией капсул со свободно засыпанным порошком. Детали капсул (корпус и крышки) изготавливали из низкоуглеродистой стали 20. Нижнюю крышку приваривали к корпусу и в образовавшийся стакан засыпали с виброуплотнением распыленный порошок. Плотность засыпки 65 – 70 %.

Подготовленные описанным образом капсулы с порошком сажали в муфельную электропечь нагретую до 1150°C и выдерживали в течение 1 ч, после чего капсулы экструдировали на гидравлическом прессе с усилием 6 МН (600 тс). Экструдированные прутки рихтовали, обрезали дефектные концевые части прутков и токарной обработкой удаляли с поверхности прутков остатки корпуса капсулы. Часть прутков подвергали ротационной ковке и волочению для получения проволоки. По результатам работ был запатентован способ горячей экструзии порошков быстрорежущей стали (а.с. № 417246, 1972 г.).

Для экспериментальной проверки работы геттера и влияния остаточного содержания кислорода на механические свойства экструдированного металла изготовили опытные партии прутков из капсул, содержащих порошок стали 10P6M5 и титановый геттер в форме пористой губки (0,3% от массы порошка). Воздух из капсул не откачивался. Из прутков изготовили образцы для определения кислорода, предела прочности на изгиб и ударной вязкости. Образцы перед испытанием подвергли закалке и отпуску по стандартному для стали P6M5 режиму. Установлено, что содержание кислорода в стали снизилось с 0,03 % до 0,01%, предел прочности повысился до 4470 МПа и ударная вязкость составила 565 кДж/м².

Экспериментально установлено, что для получения такого уровня механических свойств экструдированной порошковой быстрорежущей стали необходимо осуществлять деформацию заготовок с вытяжкой $\lambda \geq 10$. Однако столь высокие деформации при экструзии приводили к высоким потерям (до 30 % по массе) дорогостоящей порошковой быстрорежущей стали при удалении оболочки [1].

Опыт, накопленный в ЦНИИМ, были использованы при создании промышленного производства ПБС по кооперации НПО «Тулачермет» – металлургический завод «Электросталь». В НПО «Тулачермет» (ныне АО «Полема») был создан производственный цех распыленных металлических порошков, оборудованный восемью установками газового распыления. Эти установки производили порошки наплавочных материалов и быстрорежущих сталей. В цехе также имелось оборудование для капсулирования порошков. Освоено производство порошков марок 10P6M5-МП, P10Ф1K8M6-МП, P0M2Ф3-МП и др. Порошки с виброуплотнением засыпали в моно- и биметаллические капсулы диаметром 325 мм и высотой 650 мм (рис.4). Капсулы экструдировали на горизонтальном гидравлическом прессе завода «Электросталь» усилием 63 МН (6300 тс) на прутки диаметром 80 – 120 мм. Стойкость порошкового инструмента в 2 – 6 раз превысила стойкость аналогов из стандартных (слиточных) быстрорежущих сталей [2]. В 90-е годы в связи с экономическим кризисом и отсутствием заказов отечественное



производство ПБС прекратилось.

Вновь возобновить работу по воссозданию ранее разработанной технологии удалось только в 2006 г., когда по инициативе ЦНИИМ тема «Инструмент» была включена в ФЦП «Национальная технологическая база». Для проведения работ по теме создан консорциум ЦНИИМ – СПбПУ, который совместно с АО «Полема» в 2007 – 2009 годах возродил опытно-промышленную технологию производства распыленных порошков, сортовых прутков и экструдированных заготовок из ПБС Р6М5-МП.

Горячая деформация пористых тел является более сложным процессом в сравнении с деформацией компактного металла. При деформации пористых брикетов происходит изменение не только размеров, но и объема деформированной заготовки. Одновременно с изменением объема меняются прочностные и упругие свойства материала пористого тела, уменьшается поверхность трения между деформируемой заготовкой и контейнером пресса и т. д.

Широкое развитие методов математического моделирования деформируемых сред на рубеже XX – XXI веков позволило производить более точные расчеты процесса горячей экструзии порошковых быстрорежущих сталей, чем это было возможно на этапе зарождения технологии.

Для учета уплотнения пористого материала к системе уравнений равновесия (1) добавляют условие изменения объема (2), а условие пластичности Губера-Мизеса заменяют эллиптическим условием пластичности [3].

$$\left\{ \sum_r \left(\int_{V^r} s_{ij} \delta \dot{\varepsilon}_{ij} dV^r + \int_{V^r} \sigma_0 \delta \dot{\varepsilon}_0 dV^r \right) \right\} = \sum_r \int_{S^r} p_i \delta U_i dS^r \quad (1)$$

$$\left\{ \sum_r \int_{V^r} \left(\dot{\varepsilon}_0 - \frac{\sigma_0}{K \Delta \tau} \right) dV^r \right\} = - \sum_r \int_{V^r} \frac{\sigma_0^*}{k \Delta \tau} dV^r \quad (2)$$

Построение эллиптического условия пластичности в исследуемом диапазоне изменения плотности пористого материала связано с необходимостью получения двух механических характеристик пористого материала: p_s – предела текучести на гидростатическое сжатие и τ_s – предела текучести на чистый сдвиг.

Кривые текучести (эллиптическое условие) в диапазоне изменения относительной плотности ρ в диапазоне от 0,70 до

0,975 получены авторами работы [4]. Зависимости пределов текучести на гидростатическое сжатие и чистый сдвиг пористого материала быстрорежущей стали Р6М5 при температуре $T=1050^\circ$ приведены в работе [5].

Математическое моделирование процесса горячей экструзии порошковой быстрорежущей стали проведено с использованием программного обеспечения Multidef, разработанного в СПбПУ для расчета уплотняемых сред методом конечных элементов. Механические свойства пористого материала заданы пределами текучести на гидростатическое сжатие (p_s) и чистый сдвиг (τ_s) в зависимости от относительной плотности и рассчитаны Ю.И. Рыбиным и А.Э. Александровым по методике работы [4]. Коэффициент Пуассона принят равным $\nu=0,3$.

В результате проведенного математического моделирования процесса горячей экструзии установлено, что для успешного компактирования ПБС достаточно применение вытяжки $\lambda = 4$ [6]. Практическая реализация полученных расчетных данных осуществлена на промышленном оборудовании АО «Полема». Показано, что проведение горячей экструзии капсул ПБС с вытяжкой $\lambda = 4$ позволяет получить полуфабрикаты с остаточной пористостью 1 – 3 %. При механической обработке проэкструдированных прутков потеряно 9% (масс.) быстрорежущей стали, что является значительным снижением потерь металла в сравнении с выше описанной технологией советского периода.

Дополнительная пластическая деформация методами прокатки иковки экструдированных прутков позволила добиться значений временного сопротивления на уровне $\sigma_{в}^{изг} = 4500 \div 5000$ МПа. Сравнение структуры ПБС, полученной в ходе опытных работ и структуры традиционной (непорошковой) стали Р6М5 приведено на рисунке 3 [6].

В отличие от непорошковой стали, в структуре ПБС можно отметить довольно равномерное распределение карбидных включений по поверхности шлифа. Площадь, занимаемая карбидной фазой, практически не изменяется при рассмотрении разных участков шлифа и составляет 6% поверхности. Диаметр карбидов не превышает 2,5 мкм, в то время как в непорошковой стали можно наблюдать как относительно

мелкие карбиды диаметром 2 мкм, так и довольно крупные, диаметром 5 – 6 мкм. Структура аустенитного зерна ПБС после закалки отвечает 12-му баллу, в то время как в непорошковой стали Р6М5 в основном наблюдается 8 – 9 балл (рисунок 4).

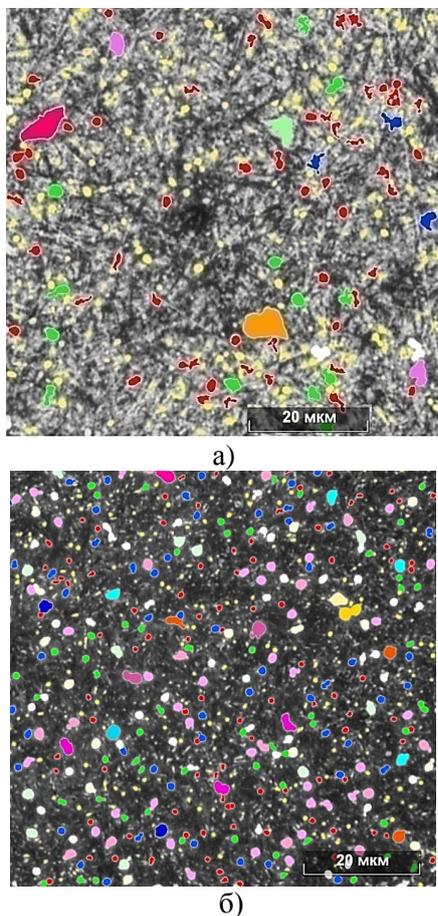


Рисунок 3 – Структура традиционной (а) и порошковой (б) быстрорежущей стали

Выводы

1. Разработана технология получения полуфабриката из быстрорежущей стали, включающая основные этапы производства, в основу которой положена горячая экструзия порошкового материала в металлической оболочке.

2. Установлено, что повышение прочностных свойств порошковой быстрорежущей стали достигается благодаря формированию в структуре равномерно распределенных карбидов относительно небольшого размера и однородной мелкозернистой структуры аустенитного зерна после закалки. Дополнительная горячая деформация заготовок позволяет повысить предел

прочности порошковой стали Р6М5-МП до значений $\sigma_{\text{в}}^{\text{изг}} = 4500 \div 5000$ МПа.

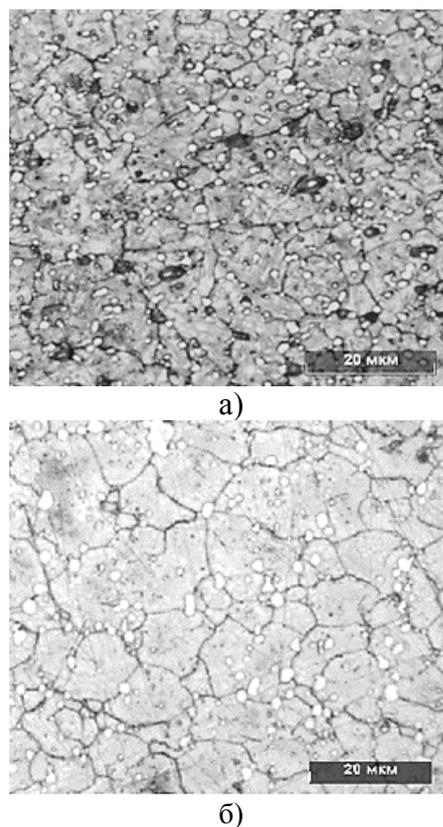


Рисунок 4 – Структуры традиционной (а) и порошковой (б) быстрорежущей стали после закалки

Список литературы

1. Гиршов В.Л. Процессы порошковой металлургии. СПб.: СПбГПУ, 2003. – 113 с.
2. Гиршов В. Л. Техничко-экономические преимущества порошковых быстрорежущих сталей // Металлообработка. 2001. №4. С. 40-42.
3. Цеменко В.Н. Деформирование порошковых сред. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001, – 104с.
4. Рыбин Ю.И., Александров А.Э. Модель уплотнения пористого тела. Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов: Труды международной научно-технической конференции / Ю.И. Рыбин. СПб.: Изд-во СПбГПУ. – 2005. – с.111-114.
5. Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов / И.Л. Перлин. – М.: Металлургия, 1975. – 447с.
6. Цеменко В.Н., Гиршов В.Л., Мазуров С.А. Моделирование и исследование процесса получения заготовок для инструмента из порошковой быстрорежущей стали // Заготовительные производства в машиностроении. Кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства. – 2012. – №10. – с.18-21