

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

© С. Я. Романюк, А. Ф. Санин

Дніпропетровський національний університет

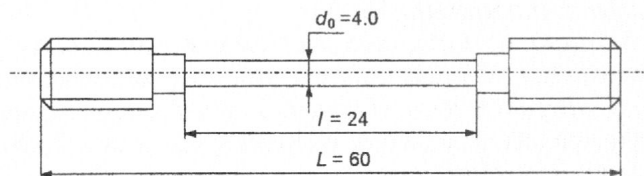
Проведено високотемпературні випробування механічних властивостей зразків, отриманих холодним пресуванням невідпаленого порошку і вакуумним спіканням з метою дослідження впливу температури нагрівання і початкової пористості заготовок на міцність і пластичність. Результати високотемпературних досліджень властивостей зразків дозволили визначити температурні інтервали гарячої екструзії спечених заготовок, відпрацьовано режим гарячої екструзії, розроблено композицію спеціального шлікера.

Одной из главных задач при производстве инструментов из порошковых быстрорежущих сталей является получение беспористых изделий, поскольку эксплуатационные свойства этих материалов существенно зависят от остаточной пористости. Достижение беспористого состояния возможно либо путем жидкофазного спекания спрессованных заготовок, либо путем горячего экструдирования предварительно спеченных пористых заготовок. Использование экструдирования особенно целесообразно для изготовления концевых режущих инструментов, при этом появляется возможность получения рациональных заготовок и снижения объема механической обработки. Кроме того, термомеханическая обработка позволяет улучшить макроструктуру материала, повысить дисперсность зерен и карбидных фаз, ликвидировать эвтектические прослойки на границах зерен, которые могут образоваться в процессе спекания. Указанные изменения приводят к возрастанию прочностных и эксплуатационных характеристик сталей.

Горячему экструдированию уделяется достаточно много внимания в литературе. Однако большинство исследований посвящено обработке компактных беспористых материалов, в то время как число работ, в которых рассматриваются основные закономерности истечения пористой заготовки из быстрорежущих сталей через матрицу и ее уплотнения, ограничено, например [1, 2]. Поэтому представляет интерес как с научной, так и с практической точек зрения рассмотреть влияние температуры нагрева, степени деформации, пористости исходной заготовки, обработки исходного порошка на качество экструдированного продукта. Например, недогрев или перегрев заготовок по отношению к оптимальным температурам может приводить к образо-

ванию при экструзии поверхностных дефектов в виде продольных и поперечных трещин и дефектов микроструктуры — увеличению размера зерна до 10—8 баллов, образованию карбидной сетки и в целом к потере пластических свойств материала и непропрессовке заготовок.

Для исследования влияния температуры нагрева и исходной пористости заготовок на прочность и пластичность проведены высокотемпературные испытания механических свойств. Специальные образцы (рисунок) изготавливали из заготовок, полученных холодным прессованием неотожженного порошка в установке гидростатического прессования и вакуумным спеканием. Порошок стали типа 10P6M5 получен распылением расплава водой давлением 14.2 МПа от температуры 1560 °С. После сушки и отсева фракция –250 мкм использовалась для дальнейшей работы. Холодное гидростатическое прессование проводили в эластичных оболочках при давлении 350—400 МПа. Плотность заготовок после прессования составляла $(4.8—5.1) \cdot 10^3$ кг/м³. Вакуумное спекание с последующим отжигом осуществляли в печи ОКБ-8086. Так как пористость заготовки варьировали в широких пределах (0.5—27 %), возникла опасность окисления образцов на значительную глубину при нагреве до температур механических испытаний, что могло привести к образованию устойчивых оксидных пле-



Образец для высокотемпературного испытания

нок на поверхности первичных частиц порошка и обезуглероживанию материала. Образование оксидных пленок на поверхности частиц, зерен и на межчастичных контактах вызывает охрупчивание материала, снижение прочности, что искажает результаты испытаний и приводит к заниженным значениям. Для предотвращения явлений глубокого внутреннего окисления при нагреве испытания проводили в вакууме на установке ПРВ-302ВНИТИ при температурах 950, 1000, 1050 и 1100 °С. Скорость растяжения не изменялась и составляла 0.002 с^{-1} . После нагрева до заданной температуры образцы выдерживались в течение 5 мин для устранения градиента температур по сечению рабочей части.

Результаты высокотемпературных исследований свойств образцов, полученных спеканием неотожженного порошка, позволили определить температурные интервалы горячей экструзии спеченных заготовок. В области температур 950...1000 °С наблюдалось интенсивное разрушение образцов под нагрузкой. При дальнейшем повышении температуры до 1100 °С разупрочнение незначительное, а на образцах с малой плотностью наблюдается повышение прочности и пластичности по сравнению с испытаниями при температуре 1000 °С. Заметный рост относительного удлинения при увеличении температуры от 950 до 1000 °С сменяется практически постоянным его значением в интервале 1000...1050 °С, но при температуре 1100 °С величина относительного удлинения в 2 раза ниже, чем при 1000...1050 °С. Исходя из этого, температуру горячей экструзии следует выбирать в интервале 980...1050 °С, то есть таком, где относительное удлинение имеет достаточно высокие значения, а прочность и текучесть изменяются незначительно и малы по величине. Однако необходимо учитывать, что при нагреве заготовок под горячую экструзию желательно добиваться максимально возможного растворения карбидов.

Таким образом, из интервала температур 980...1050 °С оптимальными температурами экструзии заготовок из быстрорежущей стали типа 10P6M5, полученных вакуумным спеканием неотожженного порошка, можно считать 1020...1050 °С.

В практике применяются следующие нагревы: в индукторе, соляной ванне, открытой печи и расплаве стеклосмазки [2, 3].

Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. Самый простой вид нагрева заготовок — в открытой печи. Однако в печах очень велика погрешность измерения температуры, в них происходит окисление поверхности заготовок. Кроме того, большая продолжительность нагрева большой

массы заготовок в случае быстрорежущих сталей ведет к росту карбидов. Аналогичный недостаток и у соляных ванн, хотя они и предохраняют заготовки от окисления.

Нагрев в индукторе технологичен по продолжительности, однако применение индуктора в качестве нагревательного устройства требует дополнительных исследований по изучению равномерности нагрева пористых заготовок.

Величина температуры нагрева заготовок оказывает влияние на геометрию атомной решетки железа (α - γ -превращение). Это вызывает появление внутренних напряжений в заготовке и трещин на ее поверхности. С ростом температуры происходят структурные изменения в металле заготовки (превращение перлит — аустенит и растворение карбидов). При нагреве заготовок необходимо добиться максимального растворения карбидов. Затем путем пластической деформации можно повысить балл аустенитного зерна, раздробить нерастворившиеся карбиды и зафиксировать эту структуру.

Узкий интервал температур пластичного состояния быстрорежущих сталей диктует необходимость контроля температуры нагрева заготовок термометрами как по диаметру, так и по длине заготовок, подбор режимов индукционного нагрева, тарифовку показаний приборов пульта управления индуктором. Возможна отработка совмещенных режимов нагрева заготовок сначала в соляной ванне и печи нагрева с защитной атмосферой до температур 800—900 °С, а затем в индукторе до более высоких температур.

При прессовании порошковой быстрорежущей стали в изотермических условиях решающую роль приобретает контактное трение. Наиболее благоприятно процесс протекает в условиях гидродинамического трения, которое характеризуется очень низким коэффициентом трения, зависящим главным образом от вязкости смазки.

Технологические смазки для выдавливания материалов в изотермических условиях должны образовывать надежный неразрывный гидродинамический слой или пленку между заготовкой и инструментом в течение всего процесса деформирования, иметь определенную вязкость, выдерживать высокие удельные нагрузки и деформироваться вместе с металлом без разрушения, не изменяя своих свойств, обладать значительно меньшим сопротивлением сдвигу по сравнению с деформируемым металлом, защищать заготовку от окисления и обезуглероживания при выдавливании, иметь хорошие теплоизолирующие свойства для уменьшения теплотеря при переносе нагретой заготовки, быть технологичной, т. е. легко наноситься на заготовку

Таблица 1. Результаты исследований качества покрытия

№ п/п	Состав покрытия	Поведение покрытия в печи	Качество покрытия
1	Жидкое стекло (ЖС) с дисульфидом молибдена	Вспучивание	Тонкий слой с дефектами
2	Стекло 3132+MoSi ₂ + глицерин	Обгорание	Покрытие отсутствует
3	Стекло 3C5K+3132+ЖС	Вспучивание	Тонкая пленка
4	Стекло 3132 + огнеупорный лак	Растрескивание поверхности	Тонкая пленка с трещинами
5	ЭВ55+MoSi ₂ + С}	Оплавление	Дефектов нет
6	ЭВ55 + ЖС	Вспучивание	Тонкий слой
7	3C5K + ЖС	- < -	- < -
8	3C5K+ MoSi ₂ + ЖС	- < -	- < -
9	95 % ЭВ55+5 % MoSi ₂ + ЖС	- < -	- < -
10	91 % ЭВ55+9 % MoSi ₂ + ЖС	- < -	- < -
11	85 % ЭВ55+15 % MoSi ₂ + ЖС	- < -	- < -
12	85 % 3C5K+15 % MoSi ₂ + ЖС	Оплавление	Дефектов нет
13	50 % стекла 105+50 % каолина+ЖС	Растрескивание поверхности	Хрупкое покрытие с трещинами
14	70 % 3C5K+30 % каолина + вода	- < -	- < -
15	79 % шамота+30 % 3C5K+ЖС	- < -	- < -
16	Стекло 15 + насыщенный р-р триполифосфата	обгорание	Покрытие отсутствует
17	3C5K+фосфогипс	Оплавление	Дефектов нет
18	80 % стекла 105+20 % Al ₂ O ₃	Вспучивание	Тонкая пленка
19	Стекло 15+ЖС	Оплавление	Дефектов нет

и легко удаляться с поверхности изделий, обеспечивать получение высокого качества поверхности.

Исследовались различные варианты нагрева заготовок до температур горячей экструзии, способы нанесения защитно-смазочного покрытия и его химический состав: нанесение шликера на холодную заготовку и нагрев; нагрев заготовки в расплаве стекла. Причем материал покрытия в зависимости от способа нанесения будет изменяться. Первый способ предполагает нанесение на заготовку шликера из порошка неорганического стекла со связующим материалом.

Подготовленные для испытаний заготовки с покрытием помещали в печь, нагревали до температуры горячей экструзии и в течение полчасовой выдержки наблюдали за поведением материала покрытия. Результаты исследований сведены в табл. 1.

По результатам проведенных исследований были выбраны шликеры на основе стекол 3C5K и № 15, на основании которых разработана композиция специального шликера. Добавки дисилицида молибдена неоправданно повышают стоимость материала покрытия.

Второй способ нанесения защитно-смазочного покрытия на заготовку из порошковой быстрорежущей стали объединяет операции нанесения покрытия и нагрев заготовки, которые осуществляют в расплаве стекла. В результате исследований для покрытия и нагрева заготовок из порошковой быстрорежущей стали с последующей экструзией были выбраны стекла № 15 и 185.

Экструдирование проводилось на прессе усилием 5МН с использованием специально изготовленной оснастки, позволившей осуществлять деформирование со скоростью 0.35—0.7 м/с. Заготовки получали гидростатическим прессованием неотожженного порошка при давлении 350—450 МПа и спеканием при различных температурах с целью создания различной исходной пористости (3—10 %). Диаметр контейнера прессы 0.063 м, диаметр спеченных заготовок 0.060 м. Коэффициент вытяжки материала варьировался изменением диаметра фильеры матрицы и составлял 4, 4.9, 13.2. Прутки после экструдирования травились в щелочной ванне при температуре 400—450 °С. Состав травителя: 30 % едкий натр + 70 % натриевая селитра. Поверхность прутков после травления осветлялась в 10 % растворе серной кислоты.

В результате проведенных исследований отработан режим горячей экструзии. Все заготовки, проэкструдированные по отработанному режиму, не разрушились. На поверхности прутков нет видимых поперечных и продольных трещин. Поверхность прутков в основном без раковин и задиров. Экструдаты, полученные из покрытых шликером заготовок, имеют более качественную поверхность, чем нагретые в расплаве стекла, на которых имеются небольшие (до 0.3 мм) раковины. Это обусловлено излишним количеством стеклосмазки на заготовке, так как наличие слоя стекла неравномерной толщины приводит к гидроудару в канале матрицы, поперечному деформированию экструдата и образованию округлых раковин на поверхности.

Таблица 2. Микроструктура порошковой быстрорежущей стали 10P6M5 после горячей экструзии

№ заготовки	Обработка порошка	Плотность, %	Температура нагрева, °С	Состояние поверхности после экструзии	Микроструктура						
1	отожжен.	100	1020	поперечн. трещины	+	+	+	+	+	—	—
2	отожжен.	100	1050	поперечн. трещины	—	+	—	—	+	+	—
3	неотожжен	100	1020	поперечн. трещины	+	+	+	+	+	—	—
4	неотожжен	100	1050	поперечн. трещины	—	+	—	—	+	+	—
5	отожжен.	80	1020	поперечн. трещины	+	—	+	+	+	—	—
6	отожжен.	80	1050	поперечн. трещины	—	+	—	—	+	+	—
7	неотожжен	80	1020	гладкая сплошная поверхн.	+	—	—	+	—	—	+
8	неотожжен	80	1050	поперечн. трещины	—	+	—	—	+	+	—

Увеличение коэффициента вытяжки от 4.5 до 13.2 повышает дисперсность карбидов в экструдированном материале, способствует более эффективному дроблению аустенитного зерна. После экструдирования заготовок с различной исходной пористостью в материале нет трещин, расслоений, пор. Ледебуритная сетка по границам частиц, наблюдаемая в некоторых заготовках после спекания, нарушается, и при коэффициенте вытяжки 9 и более не наблюдается. Особенности микроструктуры сталей, полученных путем горячего экструдирования предварительно спеченных заготовок, показаны в табл. 2.

Проведенные исследования показали, что для обеспечения оптимальных свойств нагретой заготовки перед горячей экструзией необходимо:

— получать порошки быстрорежущей стали фракции 0.25 мм с содержанием кислорода не более 0.15 % и углерода 1.1—1.4 %;

— спекать заготовки для предотвращения роста карбидов в интервале температур 1150—1200 °С;

— нагрев заготовок под экструзию проводить с разностью температур по сечению от поверхности к центру и длине заготовки ± 5 К;

— экструдировать заготовки со скоростями 0.2—0.7 м/с, которые обеспечивают протекание процес-

са экструзии с минимальным понижением температуры заготовки;

— использовать теплоизолирующие стеклосмазки, снижающие коэффициент трения при течении металла в контейнере и матрице.

1. Манегин Ю. В., Суслов А. Г., Лузин Ю. Ф. Исследование кинематики и распределения пористости в порошковом металле при прессовании: В кн. Интенсификация производства прессованных изделий. — М.—Каменск-Уральский, 1985.—С. 124—125.
2. Ковальченко М. С. Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давлением. — К.: Наук. думка, 1980.—256 с.
3. Прозоров Л. В. Прессование стали и тугоплавких сталей. — М.: Машиностроение, 1969.—378 с.

TERMOMECHANIC TREATMENT OF TOOL STEELS POROUS BARS

S. Ya. Romanyuk, A. F. Sanin

The high temperature tests mechanic properties of samples, produced by cold pressing of unannealed powder and vacuum sintering, were performed with a aim to investigate an influence of temperature and bands initial porosity at strength and plasticity. The results of high temperature investigations allowed to define the temperature intervals of hot extrusion sintered bars. The mode of hot extrude is found, the composition of special shlicer is developed.