ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/381

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОЧЕНИЯ ПРИ
ПОЛУЧЕНИИ ФИЛАМЕНТОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6**

Попелюх А.И., Тюрин А.Г., Руктуев А.А, Смирнов А.И., Рашковец М.В.
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

Проведена оптимизация технологических параметров волочения при получении филаментов из титанового сплава ВТ6. На основании оценки триботехнических свойств проведен выбор смазочного материала для изготовления металлических филаментов из сплава ВТ6 (проволока, пруток).

В настоящее время одним из перспективных способов получения изделий без использования формообразующей оснастки, позволяющий сократить стадии технологической подготовки производства, является метод «прямого выращивания» или аддитивная технология. Сущность большинства применяемых технологий «прямого выращивания» заключается в послойной наплавке сырья, как правило, в виде порошка. Одной из перспективных форм заготовок, применяемых в аддитивном производстве, является цилиндрический филамент (длинномерная заготовка или пруток круглого сечения) [1]. Использование сырья в виде прутка или проволоки позволяет значительно сократить время его получения, предотвратить появление пор и уменьшить концентрацию кислорода в выращиваемых изделиях. Одним из перспективных типов материалов для аддитивных технологий являются титановые сплавы, в этом случае в качестве основной формообразующей технологии для получения филаментов является технология волочения. В связи с этим актуальную задачу представляет собой оптимизация технологии волочения филаментов из титанового сплава для аддитивного производства.

Для выявления оптимальных технологических режимов волочения титановой проволоки была проведена оценка влияния типа смазочного материала на коэффициент трения. Выбор типа смазочных материалов осуществлялся в соответствии с рекомендациями [2, 3]. Анализ полученных значений показывает, что предпочтительным видом смазочного материала для использования в паре трения «титановый сплав – твердый сплав» является смазка на основе пчелиного воска. В этом случае коэффициент трения составляет 0.06, что примерно соответствует коэффициенту трения антифрикционных материалов. Волочение реализовывали на электромеханической системе типа Instron 3369 путем протягивания цилиндрической заготовки из сплава ВТ6 (исходный диаметр 4 мм) через твердосплавные фильеры диаметрами 3,8; 3,4; 3,2; 2,8; 2,5; 2,3; 2,0; 1,8; 1,5; 1,3 и 1,2 мм, при скоростях протягивания заготовки через волоку 30, 60, 120, 240, 360 мм/мин. В процессе волочения фиксировалось усилие волочения.

Волочение сплава ВТ6 (исходный диаметр 4 мм) на диаметр 3.8 мм со скоростями 30, 60, 120, 240, 360 мм/мин свидетельствует о практически одинаковых значениях усилия при волочении. Сила, возникающая при протягивании заготовки с указанными скоростями примерно одинакова и составляет 2675 Н, что соответствует напряжению волочения 235 МПа. Следует отметить, что силовые показатели волочения практически не зависят от скорости волочения, а в значительной степени определяются типом смазывающего материала и разницей между диаметрами заготовки и волоки. Так, например, волочение проволоки диаметром 4.0 мм из сплава ВТ6 на диаметр 3.8 мм без смазывающего материала приводит к увеличению усилия волочения с 2691 Н со смазкой воском до 3269 Н при сухом трении и напряжения волочения с 237 МПа до 289 МПа.

В случае реализации волочения на лабораторном оборудовании целесообразно использовать скорость 240 мм/мин поскольку скорость 360 мм/мин является предельно-допустимой, а при скоростях менее 240 мм/мин производительность получения филаментов будет слишком низкой. Волочение сплава ВТ6 (исходный диаметр 4 мм) на диаметр 3,8 мм со скоростями 30, 60, 120, 240, 360 мм/мин свидетельствует о практически одинаковых значениях усилия при волочении. Сила, возникающая при протягивании заготовки с указанными

Секция 7. Аддитивные технологии формирования материалов, изделий и конструкций с иерархической структурой

скоростями примерно одинакова и составляет 2675 Н, что соответствует напряжению волочения 235 МПа.

При реализации волочения титанового сплава ВТ6 (отжиг 650 °С) по маршруту $\varnothing 4$ мм исходн. $\rightarrow \varnothing 3,8$ мм $\rightarrow \varnothing 3,4$ мм $\rightarrow \varnothing 3,2$ мм $\rightarrow \varnothing 2,8$ мм происходит увеличение силовых показателей волочения и снижение коэффициента запаса прочности протягиваемой заготовки.

Следует отметить высокое значение коэффициента запаса прочности при волочении через волоку диаметром 3,8 мм, что свидетельствует о нерационально выбранной степени пластической деформации. В данном случае более эффективным представляется волочение исходной заготовки $\varnothing 4$ мм через волоку меньшего диаметра, например 3.7 или 3.6 мм. Деформирование же заготовки с $\varnothing 3.2$ на $\varnothing 2.8$ наоборот отличается низким значением коэффициента запаса прочности. Низкие значения коэффициента запаса прочности приводят к частым обрывам проволоки, что существенно снижает производительность обработки сплава давлением. Одним из способов решения указанной проблемы является применение смягчающей термической обработки перед волочением на $\varnothing 2,8$ с целью снижения предела текучести σ_t , что приведет к повышению коэффициента запаса прочности до диапазона 1,2 – 2,3. Проведение отжига проволоки из сплава ВТ6, полученной после волочения через волоку $\varnothing 3,2$, при температуре 650 °С в течение 1 часа в вакуумной печи способствует снижению прочностных характеристик и повышению характеристик пластичности.

По аналогичной последовательности были определены напряженно-силовые показатели волочения через волоки $\varnothing 3,2 \rightarrow \varnothing 2,8 \rightarrow \varnothing 2,5 \rightarrow \varnothing 2,3 \rightarrow \varnothing 2,0$ и $\varnothing 2,0 \rightarrow \varnothing 1,8 \rightarrow \varnothing 1,5 \rightarrow \varnothing 1,3 \rightarrow \varnothing 1,2$.

По результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что при получении экспериментальных образцов цилиндрических филаментов из титанового сплава ВТ6 малых сечений, диаметром до 1.2 мм, волочение необходимо осуществлять в несколько пропусков с промежуточными разупрочняющими отжигами. На основе анализа полученных зависимостей усилия волочения, напряжения волочения и коэффициента запаса прочности, а также механических свойств получаемых изделий был составлен маршрут волочения цилиндрических филаментов из сплава ВТ6 (отжиг 650 °С) $\varnothing 4$ мм исходн. $\rightarrow \varnothing 3,8$ мм $\rightarrow \varnothing 3,4$ мм $\rightarrow \varnothing 3,2$ мм $\rightarrow$ Отжиг 650 °С $\rightarrow \varnothing 2,8 \rightarrow \varnothing 2,5 \rightarrow \varnothing 2,3 \rightarrow \varnothing 2,0 \rightarrow$ Отжиг 650 °С $\rightarrow \varnothing 1,8 \rightarrow \varnothing 1,5 \rightarrow \varnothing 1,3 \rightarrow \varnothing 1,2$.

1. Brandl E. et al. Additive manufactured Ti-6Al-4V using welding wire: comparison of laser and arc beam deposition and evaluation with respect to aerospace material specifications //Phys. Procedia. – 2010. – Т. 5. – №. Pt 2. – С. 595-606. Chester Thomas Sims, N. S. Stoloff, William C. Hagel. The Superalloys // Wiley, 1987. – 615 с.
2. Справочник волочильщика проволоки / Горловский М.Б., Меркачев В.Н. – М. : Металлургия, 1993 . – 335 с. Горловский М.Б., Меркачев В.Н. Справочник волочильщика проволоки. М.: Металлургия, 1993. 335 с.
3. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1971. 448с.