

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В ЗАГОТОВКАХ ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT20 МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ

И.А. Бурлаков, Д.М. Забельян, Д.Э. Гордин

В статье приведены результаты исследования термического сверления заготовок из жаропрочного титанового сплава VT20. Показано, что данный метод позволяет получать отверстия относительно хорошей цилиндрической формы, представлены результаты поиска рационального инструмента и режимов сверления.

Ключевые слова: титановый сплав VT20, термическое сверление, программный комплекс QForm VX, установка для термосверления, эксперименты.

HOLE MAKING IN BILLETS FROM VT20 HIGH-TEMPERATURE TITANIUM ALLOY BY THERMAL DRILLING

I.A. Burlakov, D.M. Zabelian, D.E. Gordin

Study results of thermal drilling billets from VT20 high-temperature titanium alloy are presented in the article. There is shown that the method allows making holes of sufficiently good cylinder form, also the results of finding the rational instrument and drilling regimes are described.

Keywords: VT20 titanium alloy, thermal drilling, QForm VX programme, thermal drilling plant, experiments.

Введение

В настоящее время во всем мире интенсивно совершенствуется процесс получения отверстий относительно малого диаметра (1–4 мм) методом термосверления, который позволяет сократить время обработки до 1–2 мин. При реализации процесса инструмент совершает вращательное и поступательное перемещение. Температура инструмента по литературным данным достигает 900 °С, а температура заготовки в зоне обработки – 1200 °С [1]. Опубликованные данные, включая патентные исследования, ограничиваются термическим сверлением заготовок из низкоуглеродистых сталей и алюминиевых сплавов и, в меньшей степени, из высокопрочных сталей [2–5].

Первоначально данный метод изготовления отверстий нашел широкое применение благодаря его универсальности – один и тот же инструмент может быть применен для разных материалов

и заготовок различных форм, что способствует снижению себестоимости производства.

Целью настоящей работы является поиск рациональных режимов формообразования отверстий термическим сверлением в заготовках из высокопрочного титанового сплава VT20.

Методика проведения эксперимента

Экспериментальные исследования были проведены на специализированной установке для изготовления отверстий методом термосверления (рис. 1).

Для ориентировочного расчета технологических параметров было проведено моделирование процесса термосверления с помощью программного комплекса *QForm VX*. Определение химического состава проводили на сканирующем микроскопе модели *SZ40*.

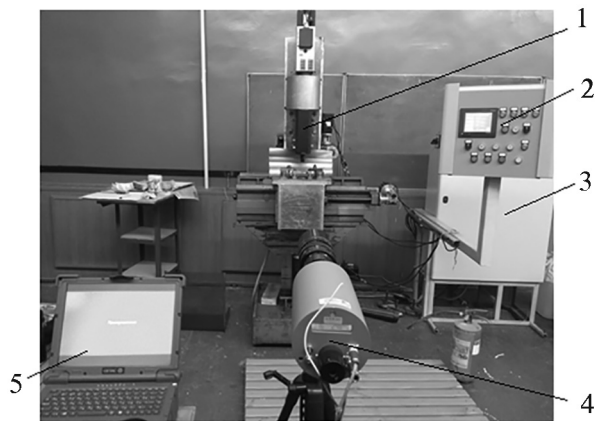


Рис. 1. Экспериментальная установка для изготовления отверстий методом термосверления: 1 – шпиндель узел установки; 2 – пульт управления установкой; 3 – электрошкаф; 4 – термовизор; 5 – персональный компьютер (вывод показаний термовизора)

Изучаемый титановый сплав BT20 имеет следующие свойства: коэффициент теплопроводности сплава равен $\lambda = 19,7$ Вт/м·град при температуре 900 °С, температура плавления – 1668 ± 4 °С, температура рекристаллизации 800–950 °С.

Износ инструмента определяли по уменьшению диаметра и длины его рабочей части, измеряемый электронным штангенциркулем с точностью до 0,01 мм.

В качестве материала для термосверл были испытаны жаропрочные стали, твердые сплавы

и вольфрам. Геометрические параметры термосверл выбирались с учетом результатов компьютерного моделирования и предварительных экспериментов.

Температура в очаге деформации определяли с помощью термовизора модели ТЕРМО-КОНТ-ТВ2С6/Б, при этом коэффициент отражательной способности для титанового сплава был принят 0,6, в соответствии с рекомендациями производителя прибора. Диаметр полученных отверстий определяли в измерительной лаборатории контрольно-измерительной машиной. Образцы для металлографических исследований отрезались на электроэрозионном станке АF-25 (Испания). Исследования проводились на бинокулярном микроскопе модели МБС-1.

Моделирование процесса программой QForm VX показало, что температура в очаге деформации превышает 1200 °С (рис. 2), что в дальнейшем было подтверждено результатами металлографического анализа образцов и показаниями термовизора. Такие температуры исключают возможность применения в качестве материала инструмента высоколегированные стали и твердые сплавы вольфрамкобальтовой группы. На основе вышеизложенного и изучения научной литературы было принято решение об использовании вольфрама в качестве материала для инструмента, имеющего хорошие механические характеристики при высоких температурах и температуру плав-

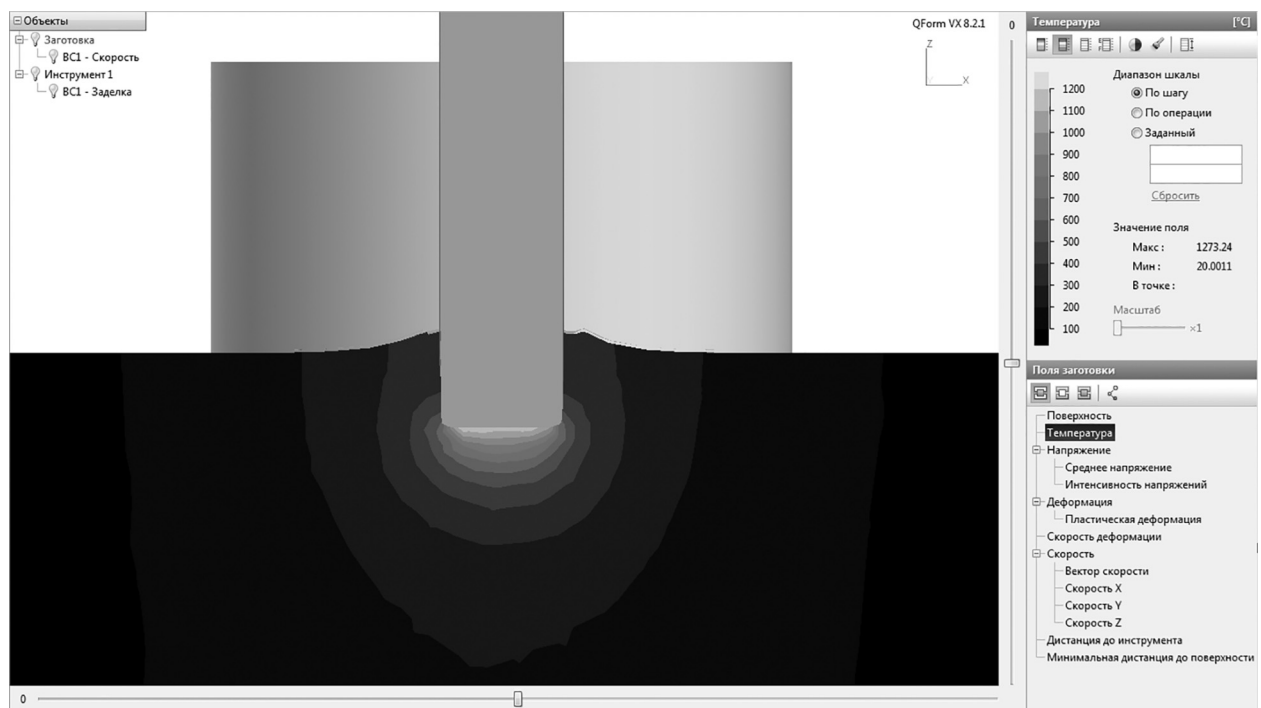


Рис. 2. Температурное поле при формообразовании отверстия термическим сверлением

ления 3410 °С. В связи с тем, что при повышении температуры пластичность вольфрама резко увеличивается [6], к заготовке предварительно подвели сверло до контакта и осуществляли разогрев за счет сил трения приблизительно в течение 50 с. Это должно позволить нагреть сверло до температуры 850–900 °С.

С учетом предварительных экспериментов был спроектирован и изготовлен из вольфрама инструмент двух типов – цилиндрическое и коническое сверло (рис. 3).



а б с

Рис. 3. Инструмент для термосверления, изготовленный из вольфрама:

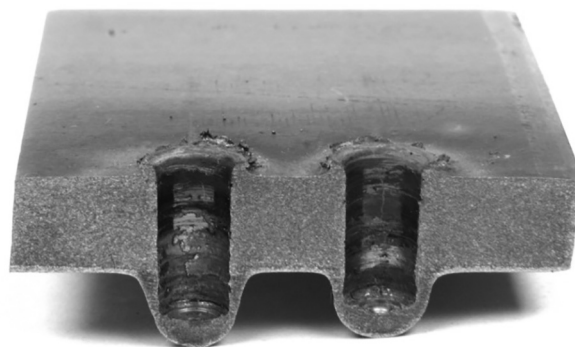
а и б – цилиндрические сверла после и до термосверления, соответственно;
с – коническое сверло

Для повышения механических характеристик инструмента он подвергался термической обработке – нагреву до температуры 850 °С, выдержке в течение 15 мин и охлаждению вместе с печью. Это позволило избежать хрупкого излома в начальный период формообразования отверстий.

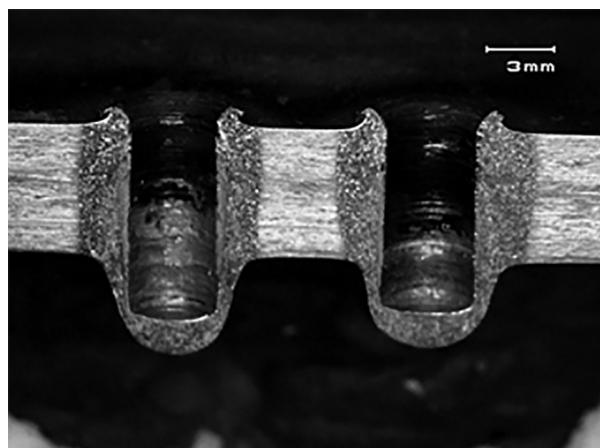
Анализ результатов

В результате термосверления получали не сквозные отверстия, а с наплывом на обеих плоскостях (рис. 4). Поэтому, в случае необходимости, заготовки должны подвергаться зачистке. Следует отметить, что у титанового сплава BT20 макроструктура материала в зоне термического воздействия величиной до 2 мм состоит из крупных зерен 7–9 типа с мартенситным внутризерненным строением и с α -оторочкой по границам зерен (см. рис. 4, б), в то время как структура основного материала соответствует 2–3 типу 9-ти типной шкалы титановых псевдо- α -сплавов.

Результаты экспериментов по определению влияния технологических режимов на износ



а



б

Рис. 4. Отверстия, полученные термосверлением:

а – общий вид; б – макротемплет

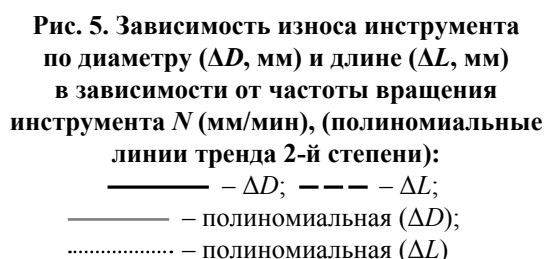
инструмента по диаметру (ΔD) и длине (ΔL) сверла приведены на рис. 5 и 6.

При формообразовании отверстий возможно образование незначительной конусности (среднее значение 0,08 мм) (таблица).

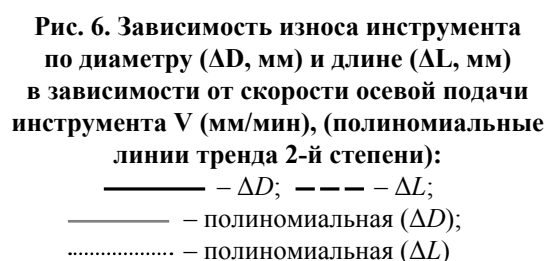
Приведенные данные показывают, что частота вращения инструмента мало влияет на изменение диаметрального размера. Износ инструмента по длине нестабилен и существенно повышается с увеличением частоты вращения шпинделя.

Величина подачи также незначительно влияет на износ инструмента по диаметру, но наблюдается его уменьшение с увеличением подачи. Износ инструмента по длине несколько возрастает с увеличением осевой подачи.

Увеличение частоты вращения инструмента от 5000 до 15000 об./мин практически не влияет на диаметральный износ сверла, который находится в пределах погрешности измерения. Это, по всей видимости, связано с незначительными напряжениями на боковых стенках цилиндрической части инструмента и высокой прочностью вольфрама при высоких температурах, которая достигает 40 кг/мм² при 1100 °С. Основная на-



В целом, с позиции износа инструмента, рациональный диапазон частоты вращения шпинделя находится в пределах 5000–10000 об./мин при подаче около 5 мм/мин.



2. Процесс термического сверления рационально вести по следующей схеме: быстро подвести сверло до контакта с заготовкой, разогреть металл в точке контакта до 900–1000 °С

Отклонение диаметра по длине отверстия (максимальное и минимальное значения)

№ образца	Максимальный диаметр, мм	Минимальный диаметр, мм	Отклонение диаметра Δd^* , мм
1	4,083	4,064	0,02
2	4,09	4,082	0,01
3	3,504	3,535	-0,03
4	4,081	4,218	-0,14
5	4,065	4,041	0,02
6	4,09	4,05	0,04
7	4,134	4,125	0,01
8	4,024	3,984	0,04
9	4,062	3,983	0,08

Машиностроение и инженерное образование, 2018, № 2

(в течение примерно 50 с) и далее осуществлять процесс с частотой вращения 10000 об./мин и подачей 5 мм/мин.

3. Профиль отверстия после термического сверления сохраняет хорошую цилиндрическую форму, и отклонение величины диаметра у верхнего и нижнего торцов в среднем имеет значение 0,08 мм.

Заключение

Технология термического сверления дает возможность принципиально изменить метод изготовления отверстий в заготовках деталей из сплава BT20. Анализ процесса методом компьютерного моделирования и результатов экспериментальных исследований позволил определить материал инструмента, а также рациональные режимы обработки, обеспечивающие его минимальный износ при достаточно высоком качестве отверстий.

Список литературы

1. Особенности формообразования отверстий в заготовках из жаропрочных сплавов методом термического сверления / И.А. Бурлаков, Д.М. Забелян, Морозов С.В. и др. М.: КШП, 2017. № 12. С. 36–40.
2. Feasibility of thermally drilling automotive alloy sheet, castings, and hydroformed shapes / P.J. Blau & et al. // ETDE. 2007.
3. Технология и инструмент для термопластического формирования отверстий / Д.А. Деморецкий, М.В. Ненашев, И.Д. Ибатулин, И.В. Нечаев, С.Г. Ганигин, А.Ю. Мурзин, В.В. Усачев, М.А. Бакулин. Самара: Самарский государственный технический университет, 2011. С. 429–432.
4. Научные технологии машиностроительного производства. Физико-химические методы и технологии / Ю.А. Моргунов, Д.В. Панов, Б.П. Саушкин, С.Б. Саушкин; под ред. Б.П. Саушкина. М.: ФОРУМ, 2013. – 928 с.
5. Получение отверстий в листовых деталях ГТД из жаропрочных сплавов методом термического сверления / Д.М. Забелян, И.А. Бурлаков, А.В. Македонов // Сборник тезисов докладов всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Новые решения и технологии в газотурбостроении», М.: ЦИАМ, 2015. С. 244–246.
6. Обработка давлением тугоплавких металлов и сплавов / Н.И. Корнеев и др. М.: Металлургия, 1975. – 440 с.

БУРЛАКОВ Игорь Андреевич E-mail: burlakov@salut.ru Тел.: (499) 785-81-59	Доктор технических наук, главный специалист УГТ АО «НПЦ газотурбостроения «Салют». Сфера научных интересов: изотермическое ротационное формообразование заготовок. Автор двух монографий, более 120 научных статей и изобретений.
ГОРДИН Дмитрий Эдуардович E-mail: mitya.gordin@yandex.ru Тел.: (903) 009-95-32	Аспирант кафедры обработки металлов давлением и аддитивных технологий Московского политехнического университета. Сфера научных интересов: формообразование заготовок деталей из листовых материалов.
ЗАБЕЛЯН Дмитрий Михайлович E-mail: Zabelyan@salut.ru Тел.: (499) 785-85-65	Заместитель главного инженера – главный технолог АО «НПЦ газотурбостроения «Салют». Сфера научных интересов: технологии авиационного двигателестроения. Автор двух монографий, более 29 научных статей и изобретений.