

## УДК 621.7.043

### ИССЛЕДОВАНИЕ ШТАМПОВКИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ

Стучинин Дмитрий Сергеевич<sup>(1)</sup>, Белокуров Олег Александрович<sup>(2)</sup>

*Магистр 1 года (1), кандидат технических наук (2),  
кафедра «Технологии обработки давлением»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.Г. Алленов*

*ассистент кафедры «Технологии обработки давлением»*

#### Аннотация

*В данной работе рассматривается процесс штамповки коленчатого вала за один переход. В ходе работы была разработана 3D модель штампа, а также проведено моделирование в программных комплексах Deform и QForm. Проанализированы полученные результаты и на их основе сконструирован штамп для получения коленчатого вала. Также представлены результаты моделирования поперечно-клиновой прокатки.*

**Ключевые слова:** *машиностроение, коленчатый вал, горячая объемная штамповка, поперечно-клиновая прокатка.*

**Коленчатый вал** - деталь сложной геометрической формы, с помощью которой возвратно-поступательное движение поршня преобразуется во вращательное движение вала ( или наоборот). Пример типичной конструкции коленчатого вала на рис. 1.

Коленчатые валы получили широкое распространение в современном машиностроении, они применяются в таких машинах, как :

1. Цепные бензопилы;
2. Компрессоры/Холодильные агрегаты;
3. Электрогенераторы;
4. Автомобили;
5. Самолеты;
6. Рельсовый транспорт;
7. Судовые двигатели;
- 8.



*Рис. 1 Пример конструкции коленчатого вала*

Существует несколько способов получения коленчатых валов в машиностроении:

1. Механическая обработка (получение вала обработкой стального прутка);
2. Литье;
3. Штамповка / Ковка;

Наиболее распространенный процесс получения коленчатого вала - горячая объемная штамповка за 2 перехода: предварительный и окончательный.

Чертеж детали и 3D модель поковки показаны на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

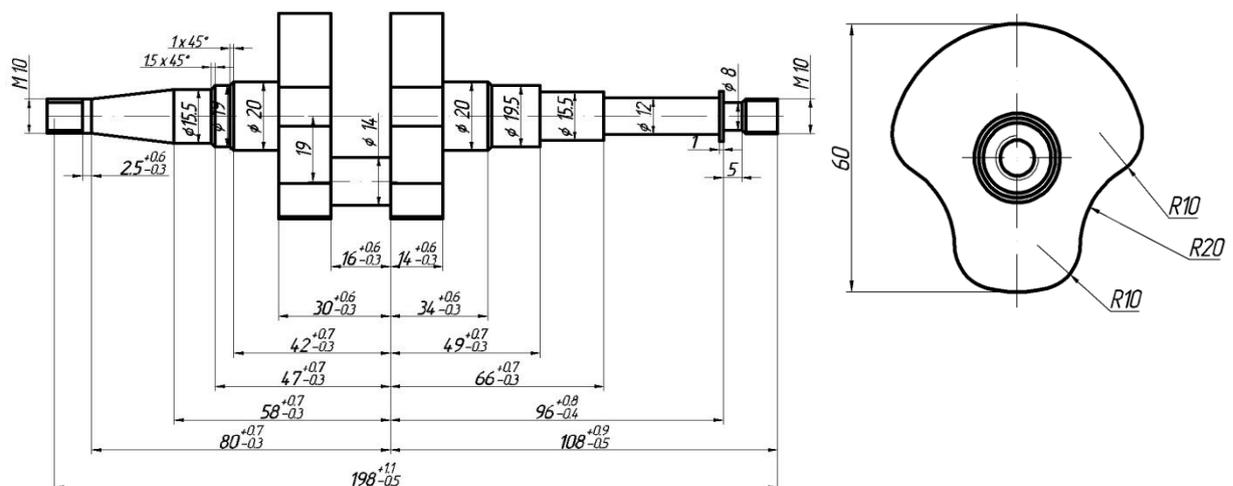


Рис. 2 Чертеж детали

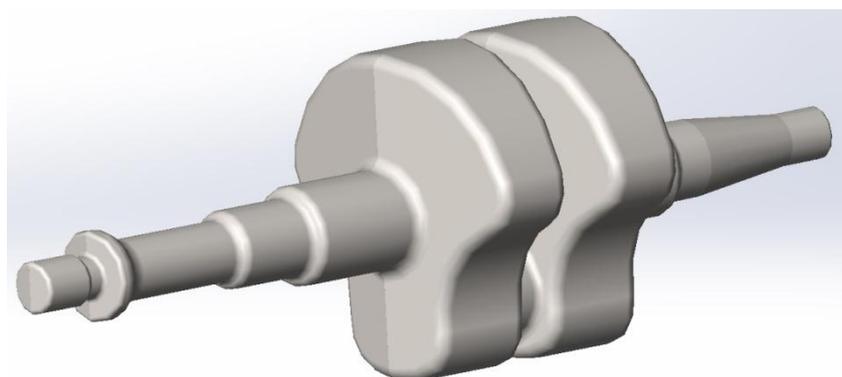


Рис. 3 3D модель горячей поковки

В процессе работы было промоделировано несколько вариантов штамповки с разными заготовками. Несколько заготовок было получено с помощью поперечно-клиновой прокатки.

**Поперечно-клиновья прокатка** - процесс получения ступенчатых деталей с перепадами диаметров (до 4 и более раз) при относительно небольшой длине.

Данным методом получают такие детали, как валы электродвигателей, пальцы конвейеров, валы коробок передач автомобилей и другие детали с удлиненной осью, а также промежуточных заготовок для последующей безоблойной и малоотходной обработке.

#### Преимущества процесса:

1. В качестве исходного материала используется горячекатаный пруток (не требует предварительной подготовки заготовки к процессу прокатки);
2. Высокая производительность оборудования (до 1000 штук в час);
3. Благоприятная структура волокон материала;
4. Простота обслуживания;
5. Заготовки деталей, полученные методом поперечно-клиновой прокатки, имеют высокую точность и максимально приближены к размерам готовых изделий;
6. Минимальное количество отходов (коэффициент использования металла от исходной заготовки достигает 0,98);
7. Возможность производства большой номенклатуры деталей на одном и том же оборудовании;
8. Время смены инструмента при переходе к прокату другого типа деталей сокращено до 5 минут;
9. Уникальная запатентованная конструкция инструмента;
10. Высокая стойкость инструмента (до 1 000000 изделий);

В поперечно-клиновой прокатке используется несколько схем получения заготовок (Рис. 4):

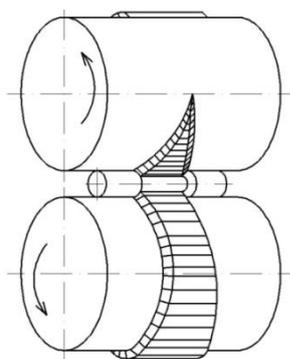


Рис. 4 (а)  
Валковая схема  
прокатки

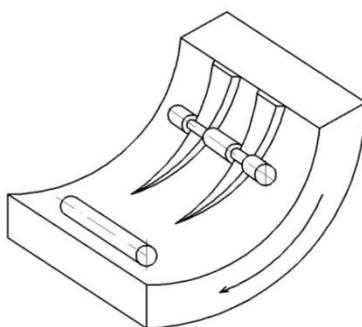


Рис. 4 (б)  
Валково-сегментная схема  
прокатки

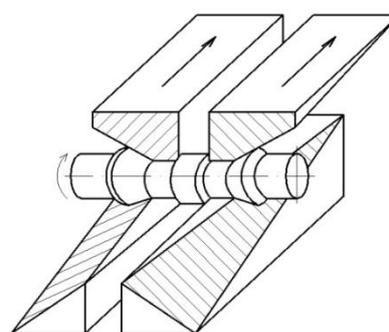


Рис. 4 (в)  
Плоская схема прокатки

В качестве схемы для получения заготовок в данном исследовании была выбрана плоская схема поперечно-клиновой прокатки.

Целью исследования было получение оптимальной заготовки, из которой возможно получить коленчатый вал за один переход штамповки при минимальном количестве облоя.

## Моделирование процесса штамповки

Моделирование проводилось в программном комплексе Deform. В первую очередь были взяты заготовки формы цилиндра, но разного объема: в первом случае объем в два раза больше объема полости штампа, во втором - равный объему полости штампа. Результаты показаны на рис. 5 (А) и рис. 5 (Б) соответственно.

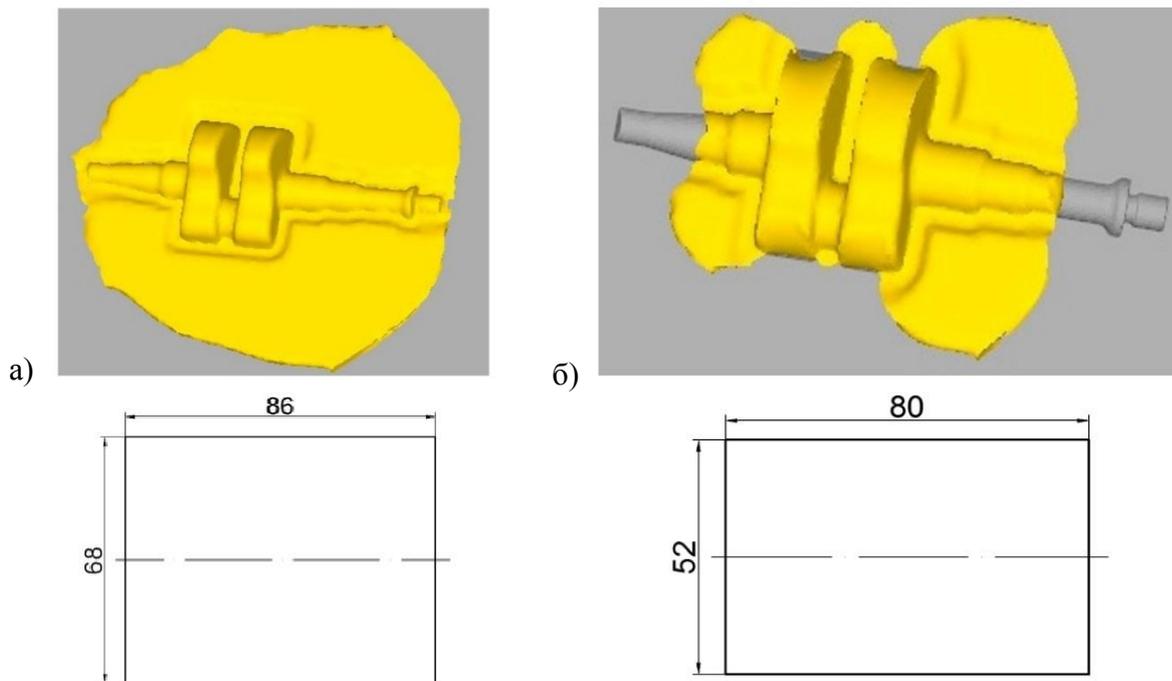
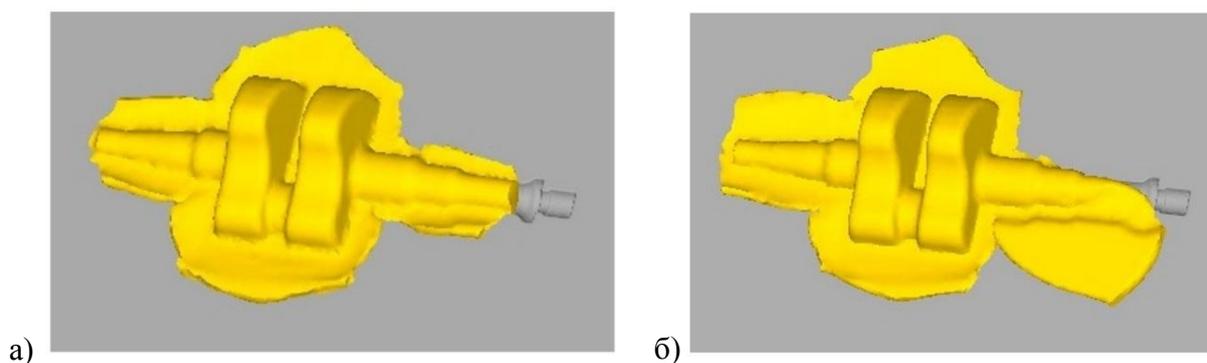


Рис. 5 Штамповка из цилиндрических заготовок

Очевидно, что в первом случае полости штампа заполнились, но вместе с этим образовалось огромное количество обля. Во втором же случае полости штампа не были заполнены металлом, так как весь объем материала был сосредоточен в центральной части штампа, что привело к незаполнению краевых полостей.

Для того, чтобы обеспечить заполнение краевых полостей штампа было решено применить заготовку, полученную поперечно-клиновой прокаткой.



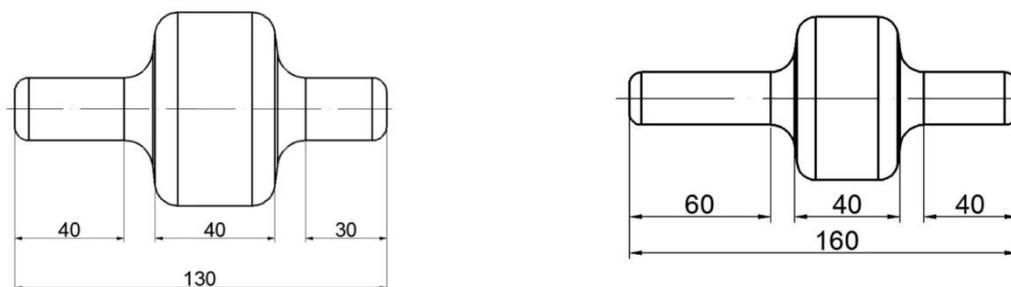


Рис. 6 Штамповка из заготовок, полученных поперечно-клиновой прокаткой

На рис. 6 показаны результаты моделирования штамповки коленчатого вала из заготовок, полученных поперечно-клиновой прокаткой.

В первом случае (рис. 6 (а) ) незаполнение произошло из-за нехватки объема материала в краевой части штампа. Для того, чтобы обеспечить заполнение штампа форма заготовки была изменена, как показано на рис. 6 (б). Такая форма заготовки привела к ее повороту в штампе, из чего последовало незаполнение.

Для исключения поворота заготовки в штампе был применен рассекатель, а также была изменена геометрия заготовки. Результат моделирования, эскиз рассекателя и заготовки показаны на рис. 7.

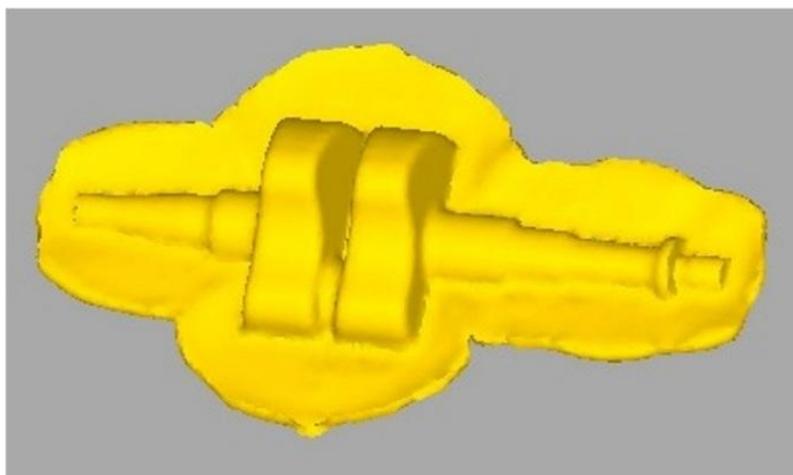


Рис. 7 (а) Результат моделирования в Deform

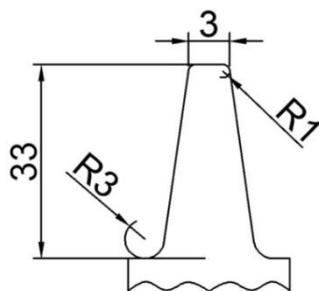


Рис. 7 (б) Эскиз рассекателя

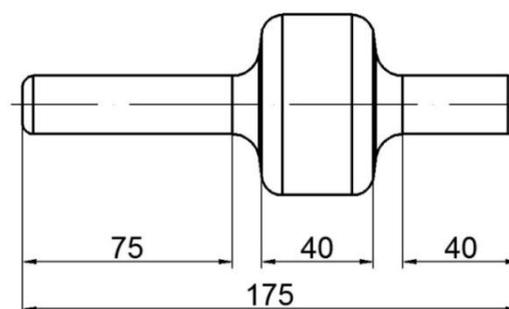


Рис.7 (в) Эскиз заготовки

## Анализ результатов

Исходя из графика можно увидеть, что максимальная сила штамповки - 4.8 МН. Приняв это во внимание и с учетом запаса 25% для штамповки данной детали может быть выбран пресс номинальной силой 6.3 МН по ГОСТ 6809-89.

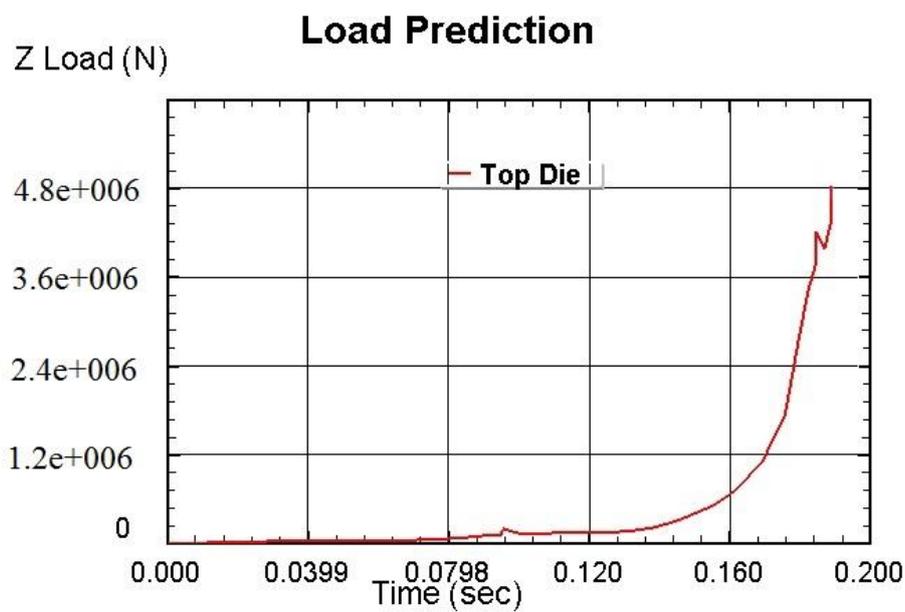


Рис. 8 График силы из программы Deform

Моделирование данного процесса также было произведено в программном комплексе QForm. График силы из QForm представлен на рис. 9.

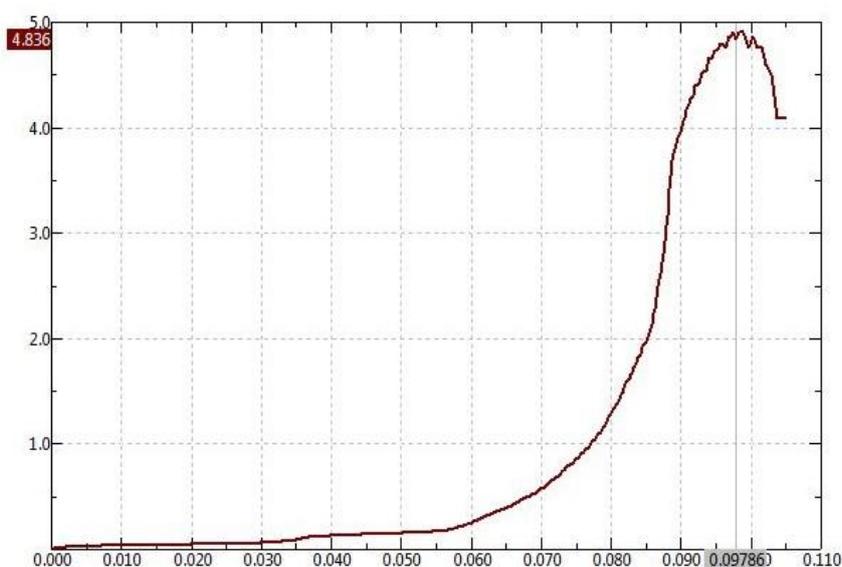
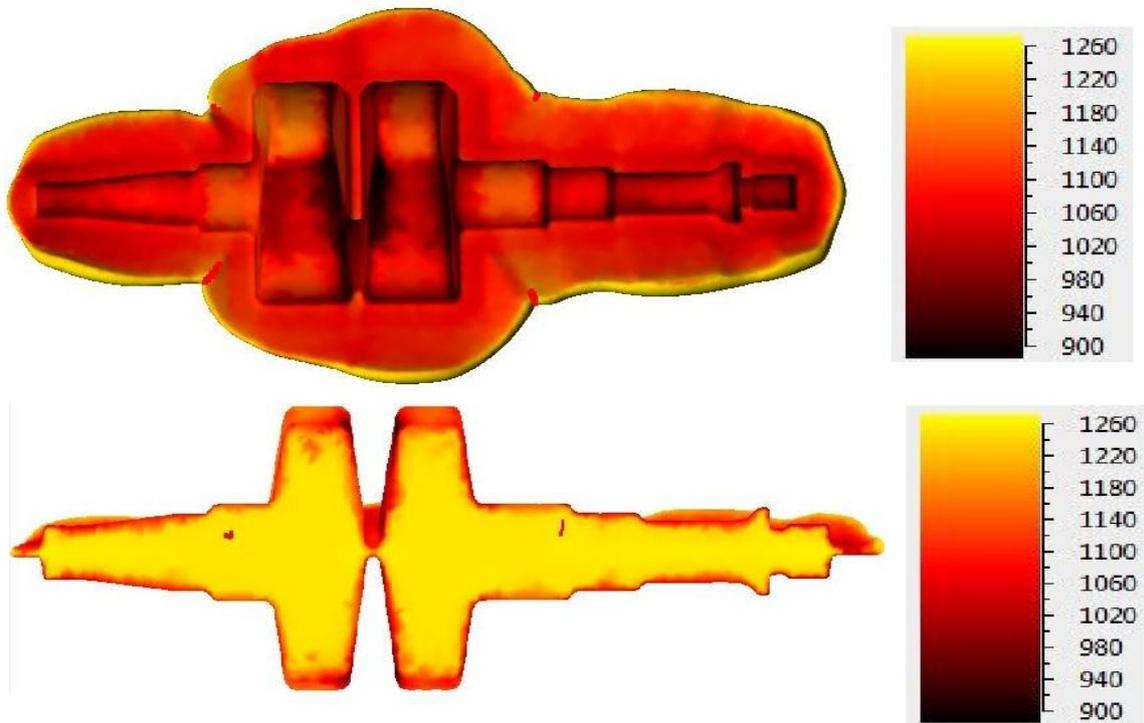


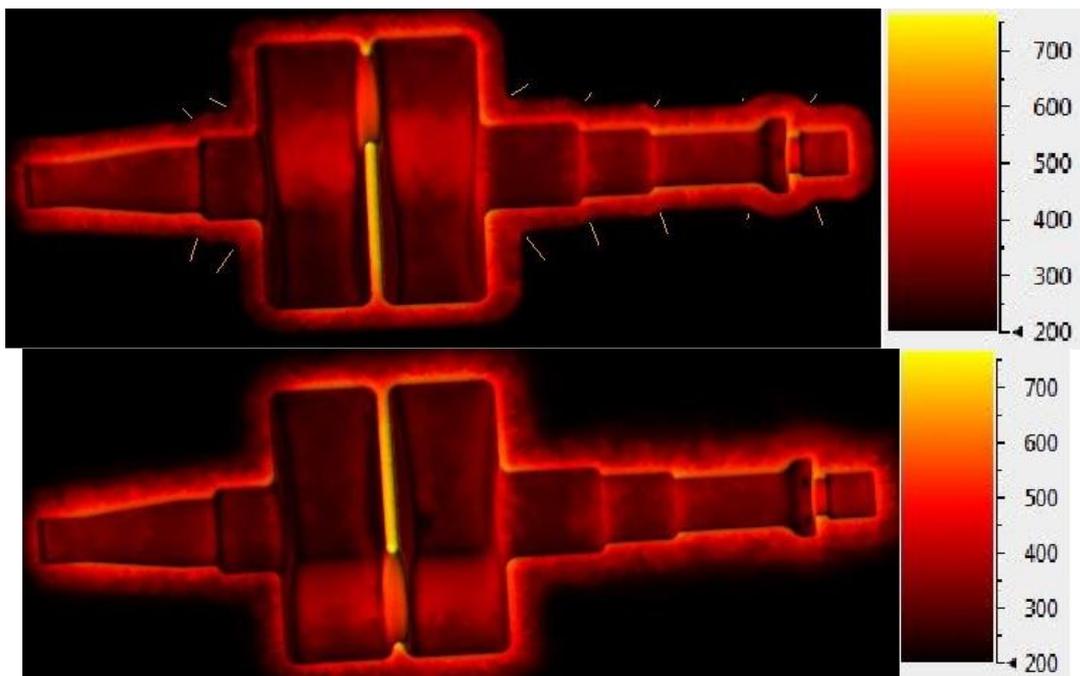
Рис. 9 График силы из программы QForm

Также в программе QForm был произведен анализ распределения температур в поковке и распределения напряжений и температур на инструменте.



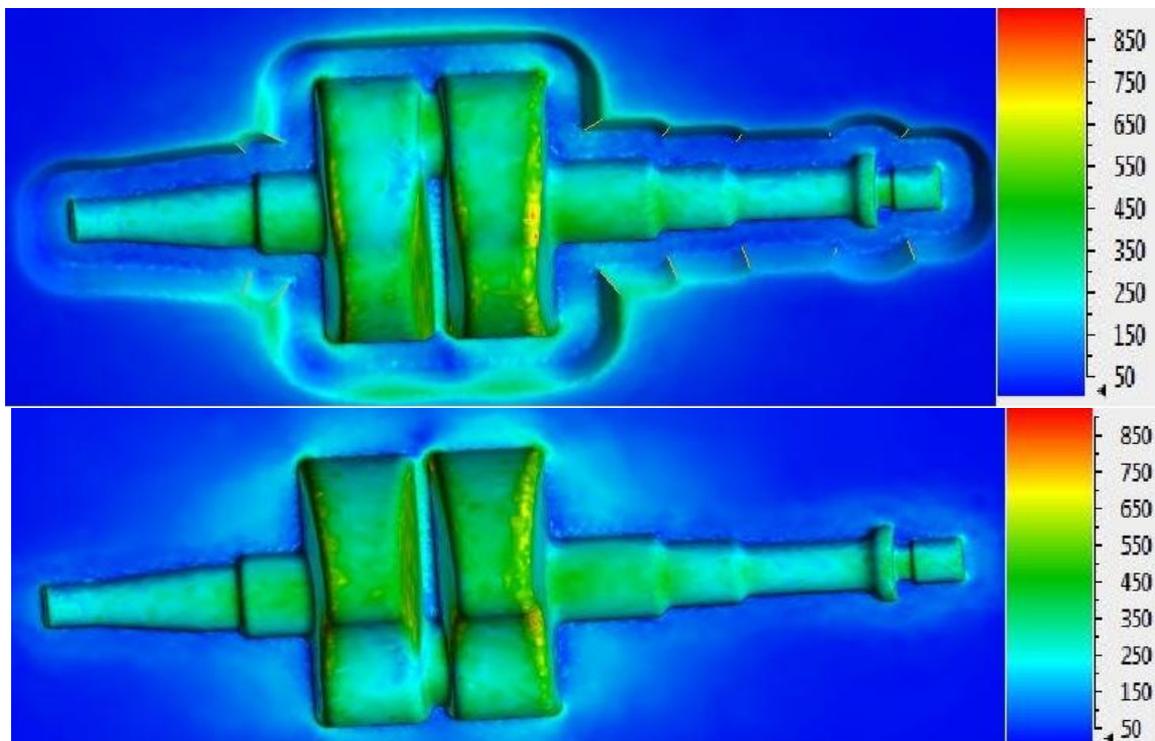
*Рис. 10 Распределение температур в поковке*

Как видно на рис. 10 минимальная температура в заготовке около 900 °С, что не выходит за пределы ковочного интервала для стали 45Х.



*Рис. 11 Распределение температур на инструменте*

Исходя из распределения температур на инструменте можно сделать вывод, что наиболее нагретой частью инструмента являются раскататели.



*Рис. 12 Распределение напряжений на инструменте*

Взглянув на распределение напряжений на инструменте можно сказать, что критических значений напряжений не было достигнуто. Тем не менее температура раскатателей и достаточно большие напряжения на них позволяют сделать вывод о том, что в окончательной конструкции штампа необходимо предусмотреть, чтобы данные элементы были съемными, так как они будут быстро изнашиваться.

### **Заключение по работе**

Применение поперечно-клиновой прокатки для получения заготовки под последующую штамповку дает ряд преимуществ:

1. Увеличивается производительность процесса за счет исключения предварительной операции штамповки;
2. Увеличивается коэффициент использования материала ( до 86 %);
3. Универсальность оборудования, что позволяет изготавливать большую номенклатуру деталей на одном оборудовании.

## Список использованной литературы

### Литература:

1. Семёнов Е.И. Ковка и объёмная штамповка.- М. : Высш.шк. 1972
2. Ковка и объёмная штамповка стали: Справочник /Под ред. В.Сторожева: в 2т. - Т1 Машиностроение , 1967
3. Ковка и объёмная штамповка стали: Справочник /Под ред. М.В.Сторожева: в 2т.-Т2 Машиностроение, 1967
4. Поперечно - клиновая прокатка в машиностроении / А.И. Целиков, И.И. Казанская, А.С. Сафонов, М: Машиностроение, 1982

### ГОСТы:

1. ГОСТ Допуски, припуски и кузнечные напуски
2. ГОСТ 6809-87 Прессы кривошипные горячештамповочные