

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК ТИПА ДИСК ИЗ  
ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ20**

**Головкин П.А., к.т.н.**

АО «Плутон», 105120, Россия, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д.11.

[p.golovkin@pluton.msk.ru](mailto:p.golovkin@pluton.msk.ru); тел.: (495) 730-36-19

**IMPROVING THE QUALITY OF TITANIUM ALLOY “NO. 20” DEVELOPED BY  
THE ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF AVIATION  
MATERIALS AVIATION MATERIALSDISK TYPE FORGINGS**

**P.A. Golovkin, Ph. D.**

Pluton JSC, 11 Nizhnyaya Syromyatnicheskaya St., Moscow, 105120, Russia.

[p.golovkin@pluton.msk.ru](mailto:p.golovkin@pluton.msk.ru) ; tel.: (495) 730-36-19

**Аннотация**

На основе математического моделирования найдена возможность повышения качества штампованных поковок типа диск из титановых сплавов. Путём доработки рабочего профиля штампа и изменению схемы формообразования штампованных поковок с обратного выдавливания на комбинацию вытяжки и последующего обратного выдавливания, а также снижения температуры нагрева заготовок, за счёт повышения равномерности деформационных процессов уменьшен разброс значений температур и накопленных деформаций по сечению штампованных поковок, и получена более однородная структура их материала.

*Ключевые слова: деталь типа диск, горячая штамповка, титановые сплавы, механизмы деформации, распределение деформаций и температур, структура, математическое моделирование.*

**Summary**

On the basis of mathematical modelling the possibility to improve the quality of stamped forgings of disc type made of titanium alloys has been found. By refining the working profile of the die and changing the forming scheme of stamped forgings from back extrusion to a combination of drawing and subsequent back extrusion, as well as reducing the temperature of heating the blanks, by increasing the uniformity of deformation processes, the spread of temperature values and accumulated strains across the cross-section of stamped forgings is reduced, and a more homogeneous structure of their material is obtained.

*Keywords: engine disks, hot stamping, titanium alloys, deformation mechanisms, deformation and temperature distribution, structure, mathematical modeling.*

### **Общие положения**

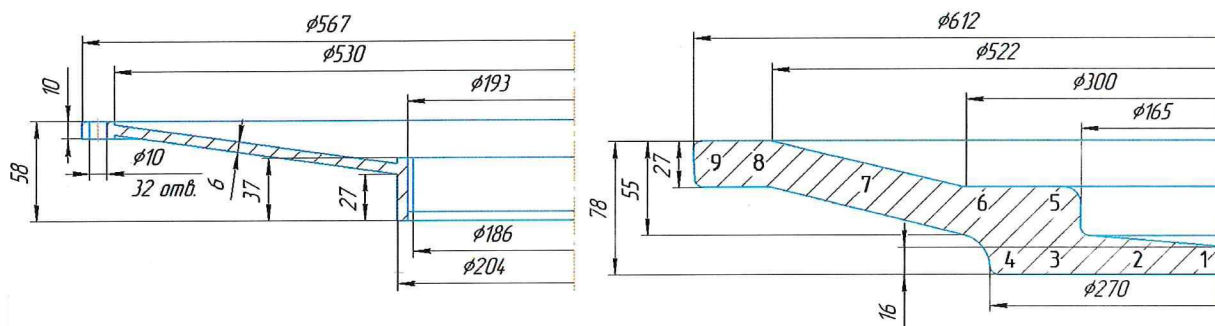
Детали типа диск являются типовыми при изготовлении горячей объёмной штамповкой на гидравлических прессах, значительная их часть изготавливается из титановых сплавов, в частности сплава ВТ20 [1]. Теплопроводность и температуропроводность сплавов титана в  $\approx 4 \dots 5$  раз и в  $\approx 3 \dots 4$  раза ниже, чем у сталей, а теплота перехода  $\alpha \leftrightarrow \beta$  в титане также в  $\approx 5$  раз больше теплоты превращения  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  в железе [2], что вызывает значительные напряжения и неоднородную структуру материала поковки [3]. Так, превращение  $\beta \rightarrow \alpha$  в титане уменьшает его удельный объём на 0,17 % [4], и сопровождается разрывом скоростей сдвиговых деформаций на фазовых границах [5] ввиду более высокой прочности и стабильности  $\alpha$ - фазы [4].

Неравномерные нагрев и деформация заготовки вызывают локальные разрывы интенсивности деформационных процессов в различных её объёмах, что может привести к значительным напряжениям в материале поковки и чистовой детали, как следствие – её поводкам и даже разрушению [6]. Увеличение сечения заготовки (поковки) и температуры нагрева повышают перепад температур, особенно резко – при сечении более 50 мм [3]. Так, для прутка  $\varnothing 25$  мм максимальная величина термических напряжений при нагреве до  $900^\circ\text{C}$  составляет  $\approx 150$  МПа, а в прутках  $\varnothing \geq 50$  мм – уже  $> 800$  МПа, при этом разница температур на поверхности и в центре заготовок не превышает соответственно 20 и  $50^\circ\text{C}$  [3]. В поковках же перепад температур и напряжений намного больше. Поэтому учёт напряжений и деформаций является одним из ключей к получению качественных поволоков и деталей из титановых сплавов.

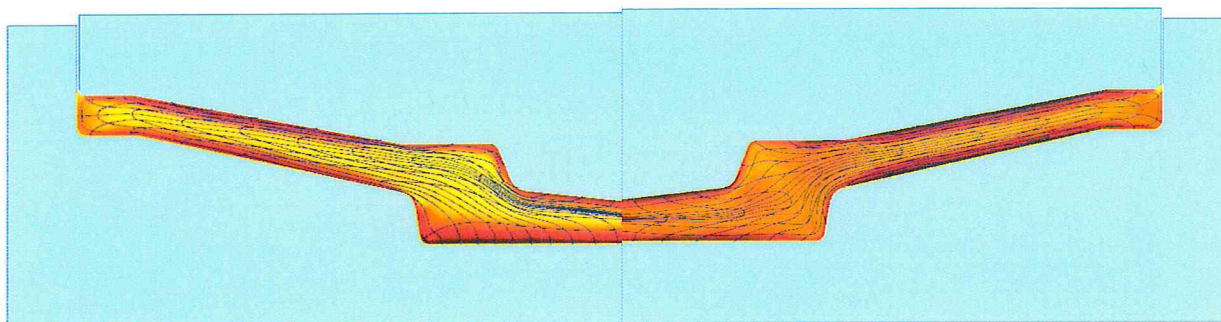
### **Базовый технологический процесс и его особенности**

Требования к горячей объёмной штамповке деталей типа диск определены ПИ1.2.279–85 [7], предписывающей ступенчатую осадку с кантовкой заготовок в конических бойках. Такая проработка даёт качественную структуру осаженных заготовок, однако без учёта особенностей поведения титановых сплавов при горячей обработке и геометрии получаемых деталей, качество их материала может снижаться.

Исходный процесс штамповки включает в себя нагрев заготовок  $\varnothing 200 \times 210$  мм из сплава ВТ20 [1] в камерных печах до температуры  $1010 \pm 10^\circ\text{C}$ , с последующей осадкой, подогревом и штамповкой. Бойки и штампы подогревались до  $350^\circ\text{C}$  [8], осадка и штамповка проводилась на гидравлическом прессе с насосно-аккумуляторным приводом и максимальным усилием 50 МН. Для ограничения окисления заготовок применялось газозащитное покрытие в виде стеклообмазки ЭВТ-25 [9].



**Рис. 1. Основные размеры детали и штамповки диска, и расположение по его сечению контрольных точек**



**Рис. 2. Распределение температур по сечению поковок, полученных по схемам выдавливания (слева) и вытяжки (справа) с нагрева до 1010 и 970 °С соответственно**

Основные размеры детали и штампованной поковки диска, а также расположение по его сечению контрольных точек, приведены на рисунке 1.

Степень осадки заготовок определялась условием их фиксации после осадки на дне ручья штампа. Это предопределило формообразование поковок дисков по схеме обратного выдавливания, имеющей свои особенности [10]. Моделирование и параллельный анализ микроструктуры поковок показали, что штамповка по такой схеме вблизи верхнего температурного предела приводит к активной локализации деформационных процессов и значительному местному деформационному разогреву, совпадающих с расположением в материале заготовки будущих получаемых деталей. Подробно влияние температуры нагрева на процесс осадки заготовок из сплава ВТ20 и возможности снижения величины деформационного разогрева, в частности, путём переворота заготовок при их осадке, рассмотрены в работе [11].

Расчёты показали, что разброс температур по сечению поковки диска составляет 1103...617 °С, а накопленных деформаций – от 4,86 до 0,08 логарифмических единиц, что говорит о высокой локализации деформационных процессов.

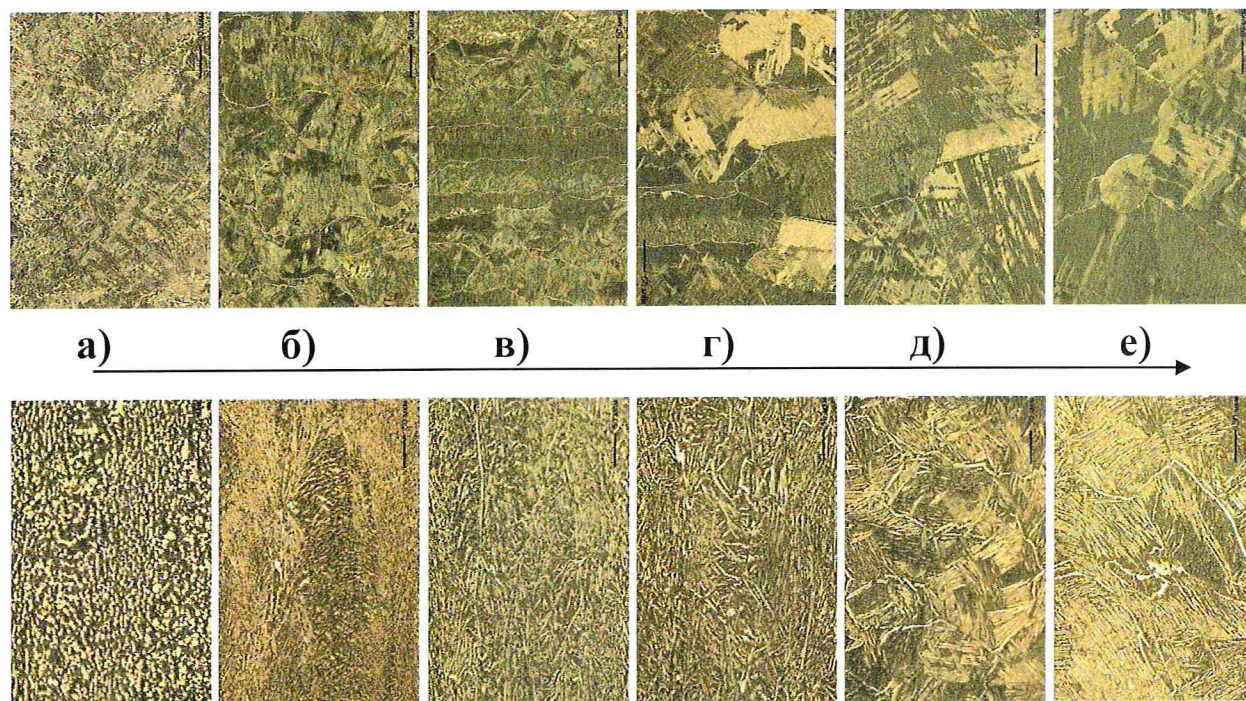
При этом наибольшие значения деформаций и температур имеют место в областях заготовки вблизи верхнего штампа, в то время как наименьшие – в быстро остывающих застойных зонах, контактирующих с нижним штампом. Область локализованной деформации и активных структурных и фазовых превращений составляет около 20 % от общей площади поперечного сечения поковок, и отличается пониженной сопротивляемостью к зарождению и развитию трещин [12].

### **Обоснование изменений технологического процесса штамповки диска**

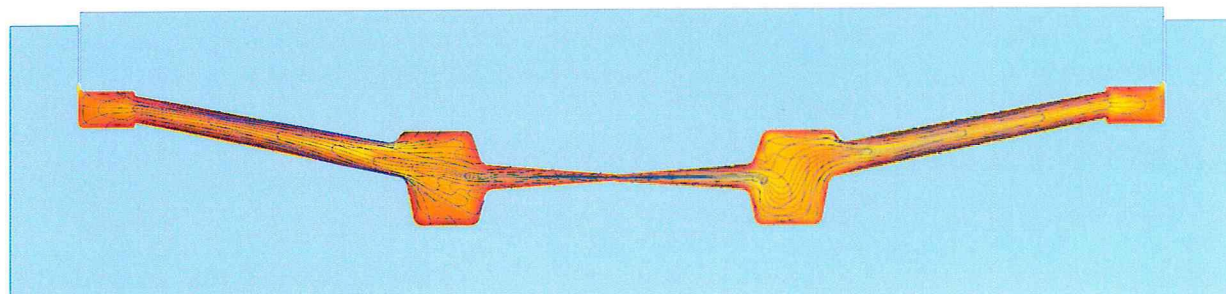
Понижение температуры заметно уменьшает локализацию межзёрненной деформации, ограничивая рост зерна и развитие нежелательных фазовых превращений [12, 13]. Микроструктуры поковок из сплава ВТ20, полученные с преобладанием межзёрненной и внутризёрненной деформации, представлены на рисунке 3. По мере повышения температуры, фазовый состав материала поковок меняется.

Равномерная мелкозернистая глобулярная  $(\alpha+\beta)$ -структура сменяется пластинчатой, с крупными вытянутыми зёрнами и отчётливой фазой  $\alpha'$  [14] по их границам. Затем формируется игольчатая фаза, и далее процесс завершается вторичной рекристаллизацией с формированием новых глобулярных  $\beta$ -зёрен в местах преобладания межзёрненной деформации, и фазы  $\alpha'$  в областях с преобладанием деформации внутризёрненной [6, 10]. При этом вторичная рекристаллизация характерна для разряжённых зон локализованных сдвиговых деформаций, в то время как фаза  $\alpha'$  формируется в перегретых областях поковки с преимущественно всесторонним сжатием.

Прослойки фазы  $\alpha'$  и зоны сформировавшейся игольчатой фазы снижают трещиностойкость [15, 16] титановых сплавов. Для получения качественной структуры поковки, значения температур и сдвиговых деформаций не должны создавать условий для динамической рекристаллизации и нежелательных полиморфных. Этого можно достичь, уменьшая градиент температур на поверхности раздела поковка $\leftrightarrow$ инструмент, и сменяя очаги деформации при штамповке. Моделирование штамповки по схеме вытяжки с последующим обратным выдавливанием показало, что уменьшение перемещения материала заготовки заметно снижает локализацию деформаций и разброс температур по её объёму, а проработка материала лучше отвечает профилю готовых деталей. Как это видно на рисунке 2.



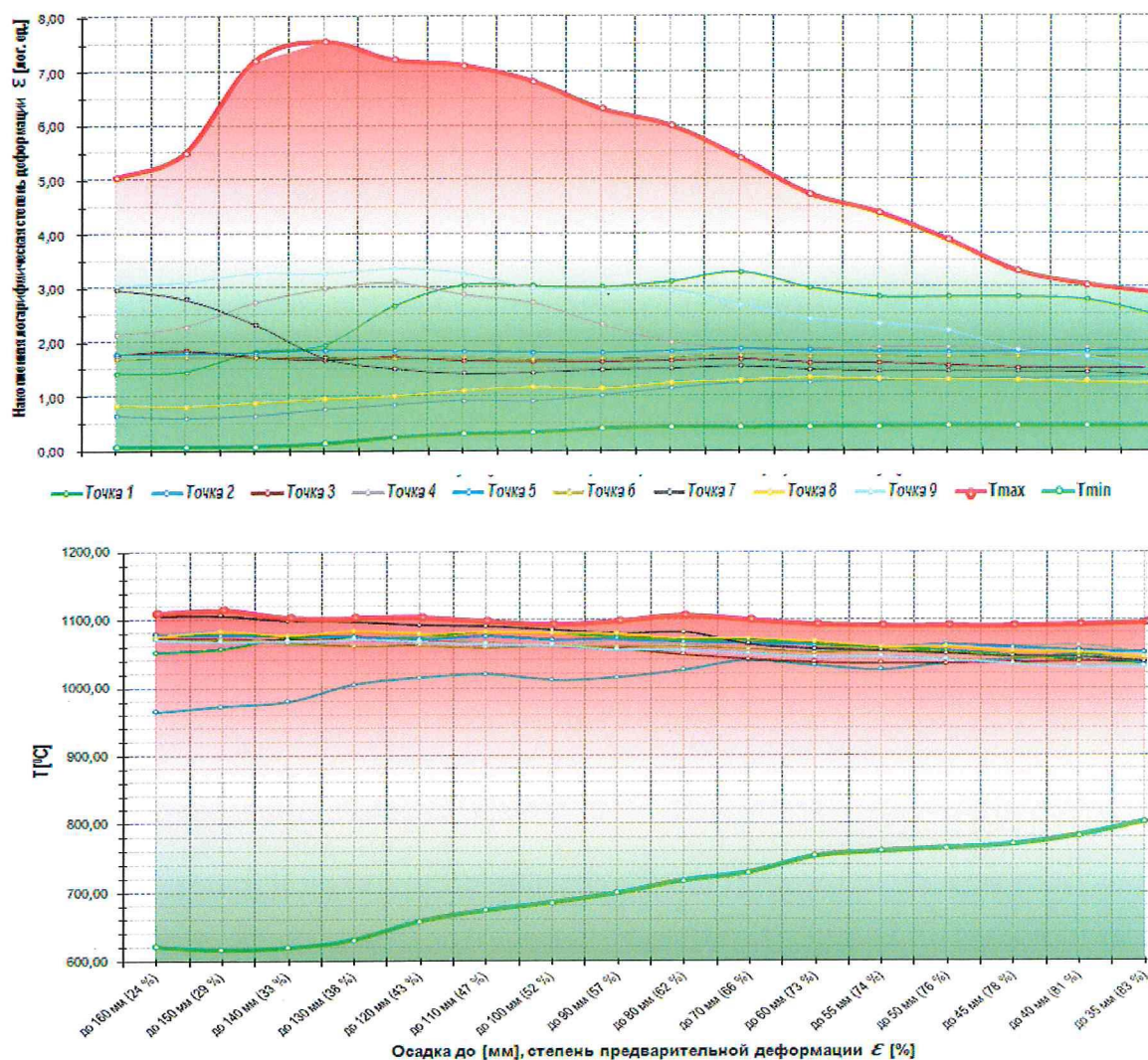
**Рис. 3.** Преобладание межзёренной (вверху) и внутризёренной (внизу) деформации,  $250\times$ . Нагрев до:  $920\text{ }^{\circ}\text{C}$  (а);  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$  (б);  $980$  (в),  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  (г);  $1020$  (д, е).



**Рис. 4.** Поля температур исходного (слева) и доработанного (справа) диска, полученного по схеме вытяжки с нагрева до  $970\text{ }^{\circ}\text{C}$  после осадки заготовок на 65 % и 80 %

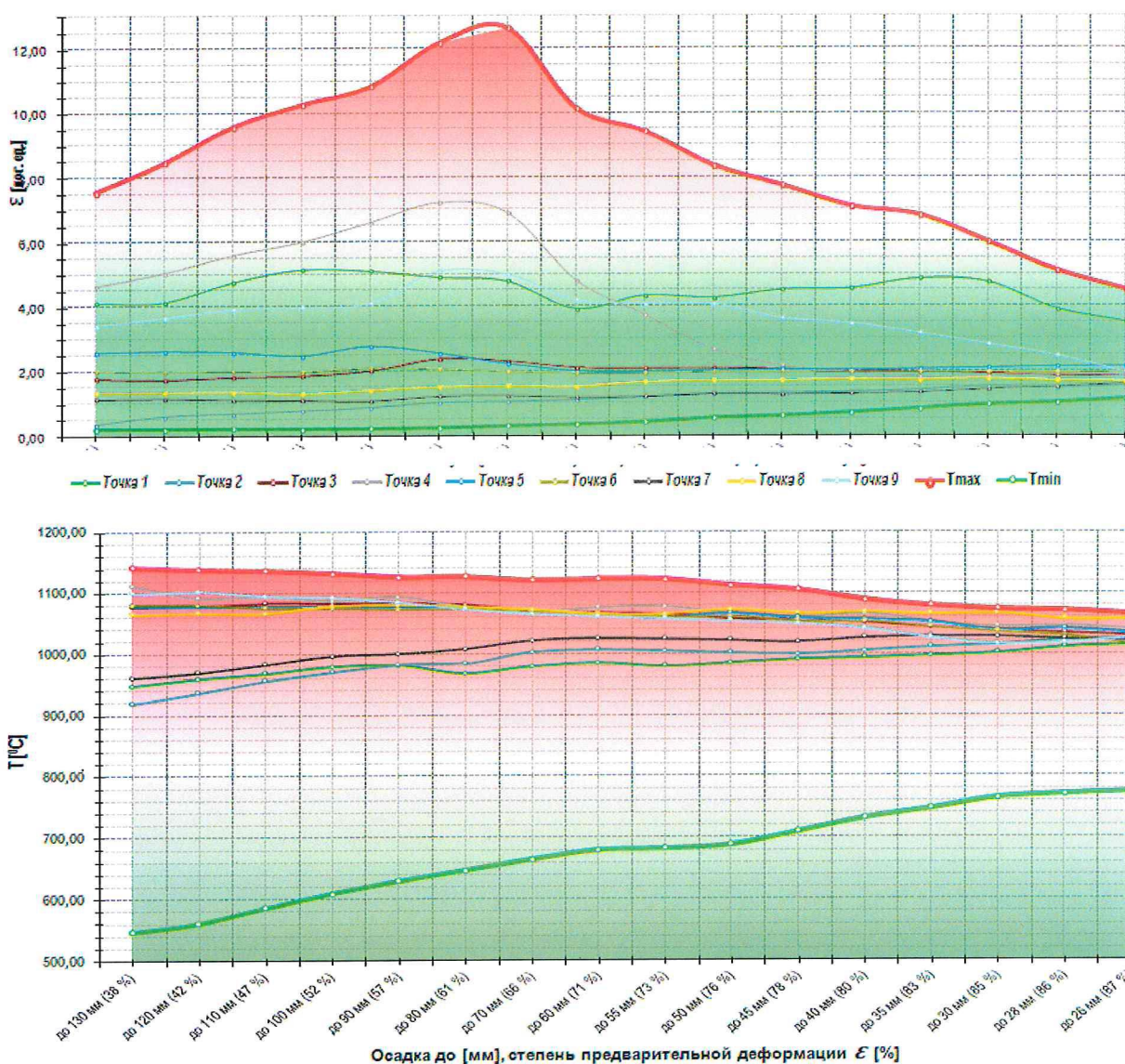
Достижимое при смене схемы штамповки перемещение очагов деформаций [8, 9] относительно исходного процесса уменьшает по сечению поковки разброс температур до  $1062\dots756\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и деформаций до  $3,2\dots0,45$  логарифмических единиц.

Моделирование штамповки по схеме вытяжки показало избыточность назначенных припусков и напусков, и возможность уменьшить их, приблизив к рекомендованной величине [15]. Доработанная поковка требует на 18 % меньше металла, и позволяет использовать заготовку  $\text{Ø } 200\times 170\text{ мм}$ , при условии получения штамповки из предварительно осаженной заготовки с прошитым в неё отверстие для облегчения заполнения тонкой центральной части штамповки.



**Рис. 5. Зависимость величины накопленных деформаций (вверху) и температур (внизу) в контрольных точках исходной штамповки диска**

Использование более тонкой заготовки ещё более приближает распределение деформаций к профилю детали, и делает более равномерным распределение полей температур, как это видно из приведённых на рисунке 4 распределений накопленных деформаций, показанных линиями Лагранжа. Как следствие, расчётный разброс температур и накопленных деформаций по сечению поковок, полученных из осаженных на 65 и 80 % заготовок, снизился соответственно до 1138...703 °C и 8,37...0,55 лог. ед., и 1092...799 °C и 4,38...1,19 лог. ед. Такое снижение будет способствовать получению равномерной мелкозернистой структуры материала поковки и детали допустимых типов [16]. Значения температур и деформаций в показанных на рисунке 1 контрольных точках штампованных поковок доработанной конфигурации отражены на рисунке 6.



**Рис.6. Зависимость величины накопленных деформаций (вверху) и температур (внизу) в контрольных точках доработанной штамповки диска**

Сравнение графиков показывает отчётливый подъём величины температур и деформаций при соответствующей базовому технологическому процессу осадке заготовки, а значит, предлагаемая схема формообразования поковок фланцев ввиду последовательной смены очагов деформации является предпочтительной. Из приведённых на рисунках 4 и 5 зависимостях можно сделать вывод о том, что для удержания температуры материала поковок дисков из сплава ВТ20 в установленных [1, 8] рамках, заготовки не следует нагревать более чем до 970 °С. При этом степень осадки исходной заготовки должна составлять не менее 65...70 %, что легко осуществимо при использовании конических бойков и переворота заготовки [11].

В таких условиях преобладание внутриверной деформации за счёт ограничения локализации деформационных процессов и связанных с ними нежелательных фазовых превращений и динамической рекристаллизации, обеспечит необходимую однородность структуры заданных типов.

Предлагаемый технологический процесса штамповки дисков предусматривает использование заготовок  $\varnothing 200 \times 170$  мм, их нагрев до температуры  $970 \pm 10$  °С в течение 150 ми, осадку на гидравлическом прессе на 65...68 % по схеме 2 [7], подогрев и прошивку технологического отверстия по центру осаженной заготовки на гидравлическом прессе, и наконец, подогрев и штамповку диска.

Предлагаемый подход к уменьшению неравномерности и температуры протекания деформационных процессов показал свою универсальность применительно изготовления титановых штампованных поковок не только типа тел вращения [10, 11], но и с более сложной конфигурации, например, типа кронштейнов с силовыми рёбрами [17...19], когда недопущение локализации деформационных процессов обеспечивает удержание металлического материала от нежелательных фазовых превращений.

### **Выводы**

1. Разработанный технологический процесс обеспечивает сокращение величины технологических припусков и напусков, снижая расход металла на 18 %. При этом зоны качественной деформационной проработки хорошо соответствует профилю готовых деталей, обеспечивая повышенные прочностные характеристики их материала.

2. Получение штампованных поковок дисков целесообразно производить штамповкой по схеме вытяжки с последующим обратным выдавливанием материала предварительно осаженной с кантовкой в конических бойках заготовки. В этом случае преобладающая внутриверная деформация обеспечивает получение равномерно проработанной мелкозернистой структуры допустимых для сплава BT20 типов.

3. Достигаемое за счёт понижения температуры, и смены очагов деформации ограничение нежелательных фазовых и структурных превращений должно положительно сказаться на прочностных характеристиках материала поковки и чистовой детали, ограничив её  $\beta$ -хрупкость.

### **Список источников**

1. Особенности применения титанового сплава BT20: ПИ1.2.105-79 / Взамен ПИ № 1024-73 с 01.09.1979 г. / –М.: ВИАМ, 1979. -13 с.



2. Физические величины. Справочник / под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова / –М.: Энергоатомиздат, 1991. -1234 с.
3. А.А. Ильин, М.Ю. Коллеров, В.В. Засыпкин, др. / Формирование напряжений первого рода в полуфабрикатах из титановых сплавов при нагреве / Вопросы авиационной науки и техники / Сб. ст. под ред. Р.Е. Шалина / –М.: ВИАМ, 1986. -с. 16...21.
4. В.С. Лясоцкая / Термическая обработка сварных соединений титановых сплавов / Под ред. Б.А. Колачева / –М.: Экомет, 2003. -351 с.
5. М.Я. Дзугутов / Напряжения и разрывы при обработке металлов давлением / 2е изд./ –М.: «Металлургия», 1974, 280 с.
6. Галкин В.И., Головкин П.А., Фесенко С.А., Давыдкина Е.А. / О повышении качества поковок Ш-образных кронштейнов из сплава ВТ14 / –М.: Титан, № 2, 2021. С. 40...44.
7. ПИ 1.2.279-85 / Штамповка дисков и валов из титановых сплавов / – М.: ВИЛС, 1986. -20 с.
8. ОСТ 92-1185-78 Штамповки и поковки из титановых сплавов. Типовые технологические процессы / –М.: ОНТИ-2, 1979. -40 с.
9. Технологическая инструкция по приготовлению и нанесению защитного технологического покрытия ЭВТ-25 на заготовки из титановых сплавов / –М.: п/я А-1147, 1984. -5 с.
10. Галкин В.И., Головкин П.А. / Повышение качества осесимметричных штампованных поковок из сплава ВТ20 / –М.: Титан, № 1, 2021. С. 39...47.
11. Галкин В.И., Головкин П.А. / Особенности деформации при осадке заготовок из титанового сплава ВТ20 / –М.: Технология машиностроения, 2022, № 8, с. 13...18.
12. Б.А. Дроздовский, Л.В. Проходцева, Н.И. Новосильцева / Трещиностойкость титановых сплавов / –М.: «Металлургия», 1983. -192 с.
13. Г.И. Носова / Фазовые превращения в сплавах титана / –М.: «Металлургия», 1968, –180 с.
14. Е. А. Борисова, Г. А. Бочвар, М. Я. Брун, др. / Металлография титановых сплавов / –М.: «Металлургия», 1980. -464 с.; ил.
15. ОСТ 92–3980–76 Штампы на молоты, прессы, горизонтально–ковочные машины. Расчёт и конструирование / –М.: ОНТИ–2, 1977, 76 с.
16. Инструкция ВИАМ № 1054-76 / Металлографический анализ титановых сплавов / взамен ТР 12-600 с 10.01.1974 / –М.: ВИАМ, 1974. -8 с.

17. Галкин В.И., Головкин П.А., Фесенко С.А. / Совершенствование процесса горячей объёмной штамповки Т- образных поковок из сплава ОТ4-1 / –М.: Технология металлов. 2020, № 4, с. 52...55.

18. Галкин В.И., Головкин П.А., Фесенко С.А. / Совершенствование П- образных поковок из алюминиевых и титановых сплавов на основе критериального подхода / – М.: Технология машиностроения, 2020, № 7, с. 10...15.

19. Галкин В.И., Головкин П.А., Фесенко С.А., Давыдкина Е.А. / О повышении качества поковок Ш-образных кронштейнов из сплава ВТ14 / –М.: Титан, № 2, 2021. С. 40...44.