

**ВЛИЯНИЕ КОВКИ НА СТРУКТУРУ И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ ЧЕРНОВОМ ТОЧЕНИИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6
THE INFLUENCE OF FORGING ON STRUCTURE AND QUALITY OF SURFACE
AT THE GREEN TURNING OF Ti-6Al-4V TITANIUM ALLOY**

Головкин П.А., к.т.н.

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

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

P. A. Golovkin, Ph.D. in Engineering Science

JSC "Pluton", 105120, Russia, Moscow, st. Nizhnyaya Syromyatnicheskaya, h. 11.

p.golovkin@pluton.msk.ru; Phone: +7 (495) 730-36-19

Крюков А. В., инженер

АО «ЦНИРТИ им. А.И. Берга», 107078, Россия, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 20,

стр. 9. minyuс@yandex.ru; тел.: (499) 267-43-93

A.V. Krykov, engineer

JSC "Central Scientific Research Radiotechnical Institute name of the academician A.I. Berg"

107078, Russia, Moscow, st. Novaya Basmannaya, h 20, building 9.

minyuс@yandex.ru; Phone: +7 (499) 267-43-93

Аннотация

В настоящее время отсутствуют нормативные документы, которые регламентировали бы целесообразные технологические режимы изготовления деталей из титановых сплавов на этапе от горячей пластической деформации до получения механически обработанной («чистой») детали в части обеспечения её качественной поверхности и структуры. То есть, не отслеживается сквозное влияние превращений материала заготовки на его характеристики, формируемые более чем через один технологический переход, его наследственность. Это усложняет достижение заданных характеристик конечного изделия, удорожает его изготовление.

На примере ($\alpha+\beta$) – титанового сплава средней прочности ВТ6 проведены исследования, позволившие выявить зависимость между параметрами ковки и стабильностью процесса обработки резанием, качеством поверхности и структурой материала получаемой детали. Предложенные на основе синергетического подхода технологические решения должны обеспечить сбалансированное улучшение указанных параметров и устранение недостатков исходного полуфабриката.

Annotation

Currently, there are no regulatory documents that would regulate the appropriate technological modes of manufacturing parts from titanium alloys at the stage from hot plastic deformation to obtaining a mechanically processed ("finishing") part in terms of ensuring its high-quality surface and structure. That is, the end-to-end effect of the transformations of the workpiece material on its characteristics formed through more than one technological transition, its heredity, is not tracked. This complicates the achievement of the specified characteristics of the final product, increases the cost of its production.

On the example of ($\alpha+\beta$) – titanium alloy of medium strength Ti-6Al-4V (UNS R56400, USA), studies were carried out that revealed the relationship between the forging parameters and the stability of the cutting process, the surface quality and the material structure of the resulting part. The technological solutions proposed on the basis of a synergistic approach should provide a balanced improvement of these parameters and eliminate the shortcomings of the initial semi-finished product.

Using the example of the VT6 titanium alloy, the influence of forging according to special modes on the quality of the structure and workability of the workpieces is analyzed.

Ключевые слова: титановый сплав, деформация, пруток, поковки, детали, температура, деформированная структура, обрабатываемость, качество поверхности, нагрузка на режущий инструмент, твёрдость материала.

Key words: titanium alloy, deformation, bar, forgings, pieces, temperature, deformed structure, workability, surface quality, cutter load, hardness of material.

Общие положения. Материал и методика эксперимента

Опираясь на синергетический подход [1], на примере титанового сплава VT6 [2] проанализировано влияниековки по специальным режимам на качество структуры и обрабатываемость заготовок. Исследование проводилось на исходном прутке [3] и поковке, полученной по схеме № 2 ВИАМ [4] с нагрева до рекомендуемой [5] температуры 950...960 °С. Поковки подвергались нормализации при температуре 850±10 °С с выдержкой 1 час и охлаждением на воздухе [6]. После предварительной обработки поволоков и прутковых заготовок обеспечивались размеры образцов Ø 58×110 мм с чистотой поверхности не хуже R_z3,2. Как и предварительная механическая обработка заготовок, чистовое точение образцов проводилось на токарно-винторезном станке 16К20 при частоте вращения шпинделя 200 об/мин, съёме 0,25 мм и аналогичной подаче.

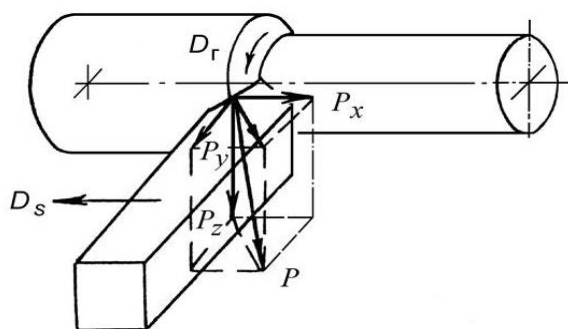


Рис. 1. Схема распределения нагрузок при токарной обработке детали

Fig. 1. Load distribution scheme for turning a part

Анализ металлографии материала исходного прутка и пробных поковок проводился с увеличением $200\times$ в поперечном направлении от прокатки, от края к центру сечения образца. В аналогичных точках изучалась фактура проточенной поверхности с увеличением $50\times$ и измерялась твёрдость материала по методу Бринелля. Шероховатость и отклонение от цилиндричности проточенных образцов измерялись с использованием оборудования марки Taylor-Hobson.

Комплексное исследование влияния типа и свойств исходного полуфабриката на характеристики его обрабатываемости резанием должно позволить сформулировать обоснованные рекомендации, на основе синергетического подхода [1] позволяющие наиболее полно использовать заложенный в материал потенциал достигаемых свойств.

Результаты и их обсуждение

При проточке по диаметру образцов получены графики нагрузок на режущий инструмент по координатам: X, Y, Z. Распределение нагрузок на резец при точении прутка показывает большие нагрузки относительно точения поковок. Это свидетельствует о более высокой вязкости вследствие некоторой рыхлости при существенном размере зерна материала исходного прутка. Ковочные операции уплотняют материал заготовок и измельчают его зерно. В результате уплотнения материала заготовки несколько возрастает его твёрдость и при этом существенно улучшается технологичность при обработке резанием. В частности, изменяются величины нагрузок на токарный инструмент. Кривые измеренных нагрузок на инструмент по осям при чистовом точении образцов показаны на рисунке 2 и приведены в таблице 1, так же в таблице приведены их медианные значения.

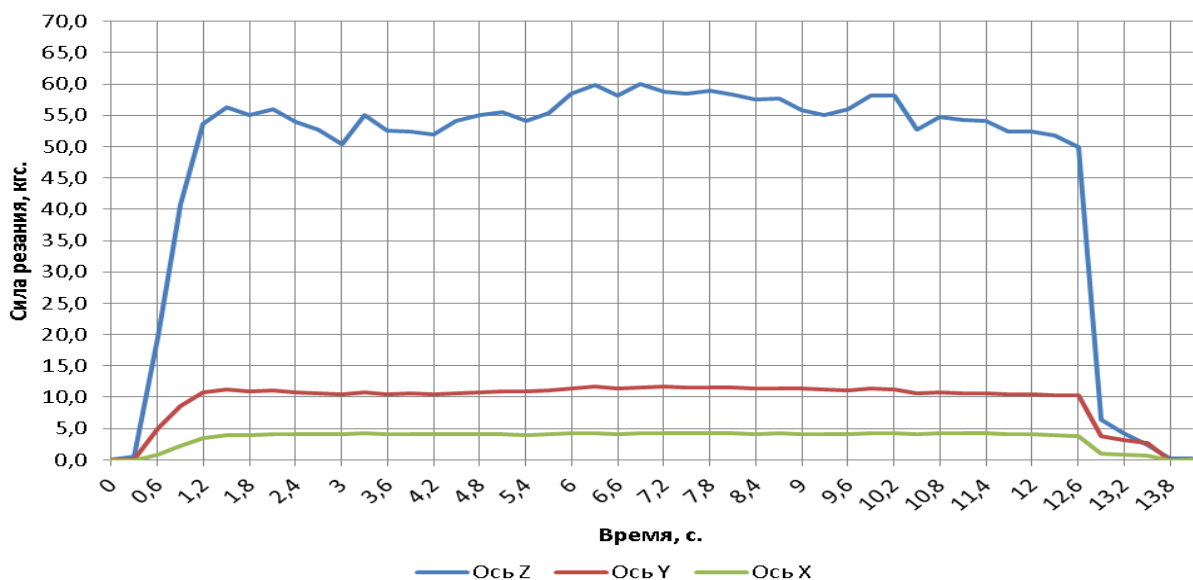
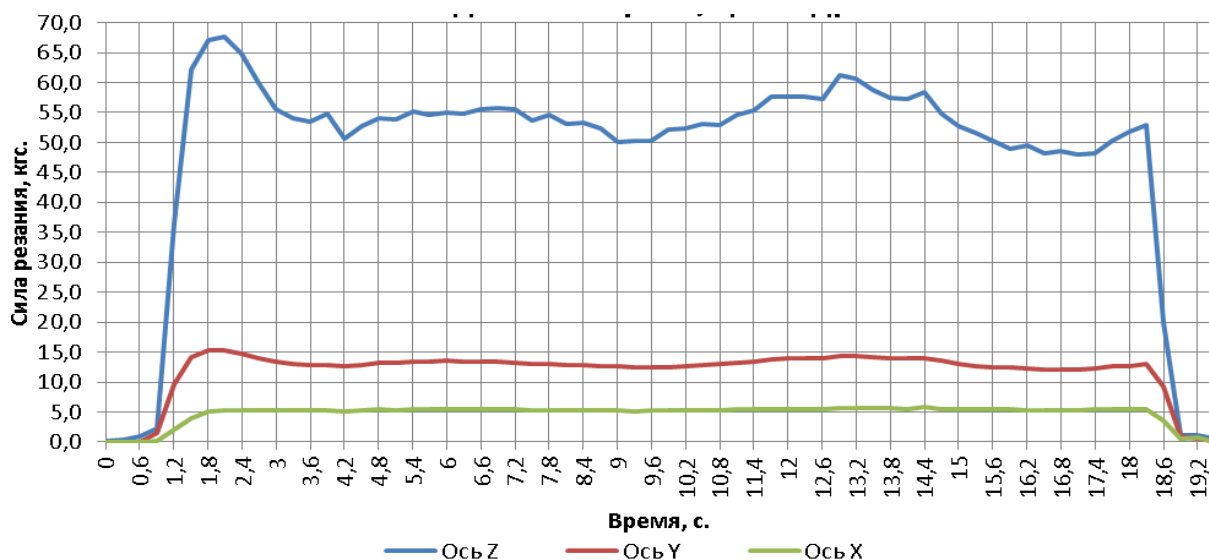


Рис. 2. Нагрузки при точении по образующей прутка (вверху) и поковки (внизу)

Fig. 2. Loads when grooving along the generatrix of a bar (above) and a forging (below)

Along the horizontal axis: time, seconds; along the vertical axis: load on the cutter, $H \times 10$ (kg)
axis x, axis y, axis z

Изучение структур материала образцов показало, что структура материала прутка в целом соответствует типам 7...8 девятитипной шкале ВИАМ [9]. В то же время, структура материала поковки а поковки отвечает типам 6...7 той же шкалы. Этот факт косвенно свидетельствует о более высокой температуре при прокатке прутка, чем при ковке заготовок. При этом в крупнозернистой структуре прутка наблюдаются провоцирующие развитие β - хрупкости [10] крупные прослойки фазы α' по границам зёрен.

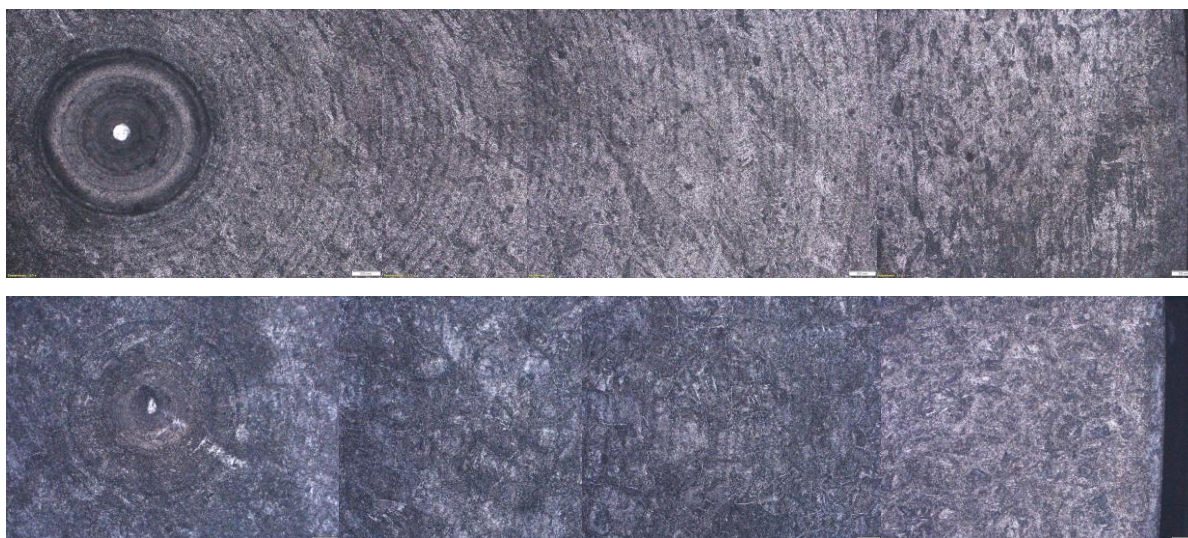
Таб. 1.

Величина нагрузок на резец при проточке образцов из прутка и поковки

Table 1.

The amount of loads on the cutter when turning samples from the bar and forging

Вид заготовки	Нагрузка по осям, Н×10, в скобках – медианное значение		
	X	Y	Z
Пруток	5±0,5 (5,3)	12...16 (13,1)	50...67 (56,5)
Поковка	4±0,5 (4,2)	10...12 (11,1)	50...60 (54,1)



**Рис. 3. Микроструктура на фоне рельефа (×50) обработанной поверхности
исходного прутка (вверху) и поковки (внизу)**

**Fig. 3. The microstructure against the background of relief (×50) of machined
surface at the check points of the bar (above) and of the forging.**

Травление показало рекристаллизованную ($\alpha+\beta$)- структуру [9] материала образцов что отражено на рисунках 3 и 4. Наложение следов токарной обработки на структуру материала образца на рисунке 3 наглядно демонстрирует улучшение качества поверхности торца кованой заготовки относительно исходного прутка.

Так же важно, что в материале исходного прутка имеют место дефекты типа раковин, могут быть недопустимы для ряда ответственных деталей. В то же время, меньшая температура деформации может обеспечить получение более трещиностойкой и однородной мелкозернистой структуры поковок [10], чем горячекатаного прутка [3], что и подтверждают исследуемые образцы.

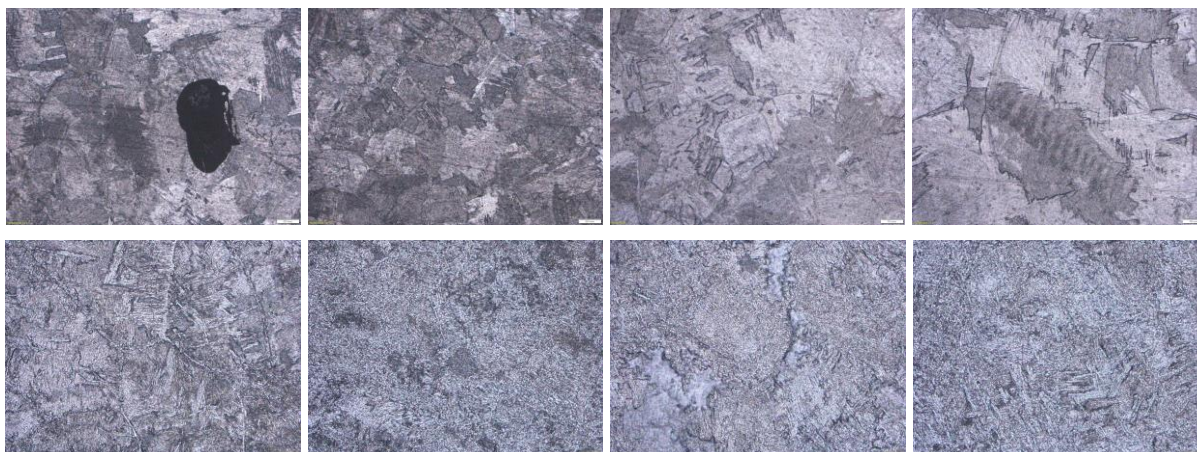


Рис. 4. Крупное зерно и раковина (слева) в исходном прутке (вверху) и измельчённая структура материала поковки (внизу), 200[×].

Fig. 4. Coarse grain and hole (left) in the bar blank (above) and shallow structure of the forging material (below), 200[×].

Анализ металлогрaфии образцов показывает, что последовательное перемещение очага деформации в теле поковки в процессе ковки по схеме 2 ВИАМ [5] позволяет получить в нужной степени равномерно измельчённую ($\alpha+\beta$)- структуру [9] материала поковки. Одновременно, профилометрия образцов фиксирует улучшение обрабатываемости ковaных заготовок как в части снижения нагрузок на инструмент, так и в части улучшения качества получаемой поверхности и уменьшения отклонения от цилиндричности. Типичные профилограммы образующей образцов из прутка и поковки представлены на рисунке 5, отклонение от цилиндричности – на рисунке 6.

Таким образом, структура заготовки оказывает непосредственное влияние на её обрабатываемость, ковка исходного прутка через гармонизацию структуры материала заготовки совершенствует фактуру поверхности получаемой чистовой детали, снижает величину внутренних напряжений и улучшает её обрабатываемость. Твёрдость металлического материала повышается, а шероховатость обработанной поверхности уменьшается и становится более стабильной, сходящая стружка – более однородной и сливной. В результате при одинаковых режимах обработки рельеф заготовок существенно различается, что отражено на рисунке 3.

Необходимо отдельно отметить изменение характера шероховатости проточенных образцов из исходного прутка и поковки. Уплотнение металлического материала в процессе ковки существенно снижает ширину чередующихся гребней и выемок, в процессе обработки прутка свидетельствующих о налипании снимаемого в процессе механической обработки крупнозернистого материала на инструмент.

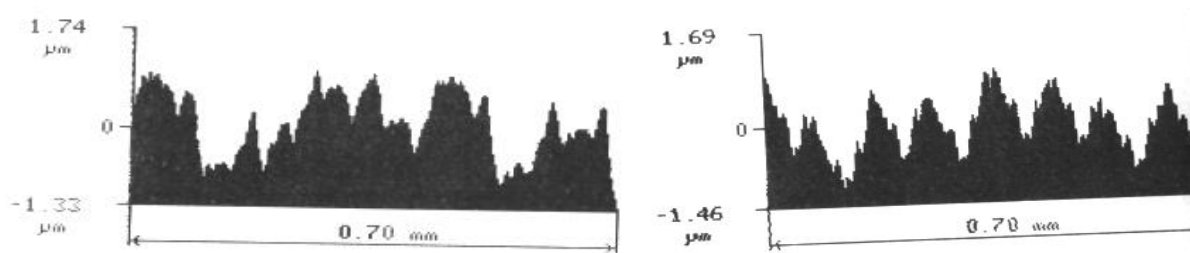


Рис.5. Шероховатость образующей исходного прутка (слева) и поковки (справа)

Fig.5. Roughness of the bar blank generatrix (left) and the forging (right)

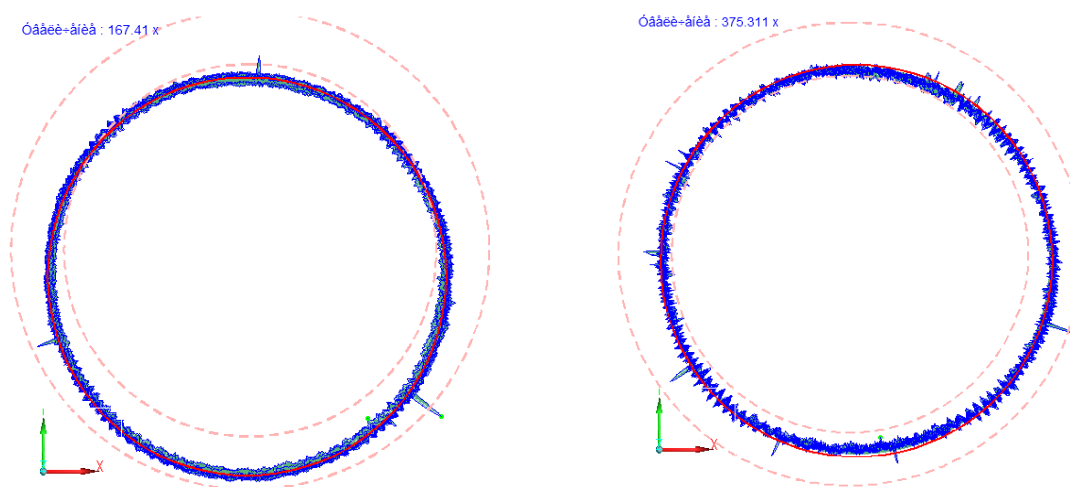


Рис. 6. Отклонение от цилиндричности прутка (слева) и поковки (справа) после проточки

Fig. 6. Deviation from the cylindrical shape of the bar (left) and forging (right) after turning

Обработка уплотнённого ковкой материала повышенной твёрдости даже при некотором увеличении абсолютного разброса между вершинами гребней и низинами выемок, существенно совершенствует поверхность обработанных заготовок, не допуская на ней микровырывы и уменьшая износ инструмента.

Из представленных на рисунке 6 профилограмм следует, что с применением процессаковки биение снижается. На рисунке 6 (слева) отчётливо видны пики отклонения полученной из прутка заготовки от цилиндрического профиля, соответственно им в материале распределены и наследственные остаточные напряжения.

Последнее обусловлено тем, что исходные прутки получаются, как правило, путём прокатки в сменяющих друг друга трёхвалковых клетях прокатных станов, что и обуславливает наличие характерной картины наследуемых остаточных напряжений.

В то же время, перемещение очага деформации по телу заготовки в процессе сложной ковки позволяет получить более равномерную проработку её материала, что отражается в появлении множества небольших пиков на профилограмме (рисунок 6, справа). В результате обеспечивается меньший разброс свойств и уровень внутренних напряжений в материале заготовки.

Итоговые характеристики твёрдости, шероховатости и стабильности формы исследуемых образцов сведены в таблицу 2, из которой следует, что при обработке ковальной заготовки помимо снижения нагрузки на инструмент уменьшается её отклонение от цилиндричности и шероховатость после обработки. Повышение твёрдости материала поковки в соответствии с известной зависимостью [11] напрямую свидетельствует о повышении его механических свойств, тем больше, чем ближе к поверхности образца производится замер. Уменьшение искривления образцов относительно их оси также является следствием снижения уровня внутренних напряжений в их материале.

Таб. 2.

Характеристики твёрдости, шероховатости и обрабатываемости исследуемых образцов

Tab. 2.

Characteristics of hardness, roughness and workability of the samples under study

Твёрдость	Пруток	Поковка	Показатели геометрии	Пруток	Поковка
НВ по центру образца	295	301	Искривление относительно оси, мкм	12	7
НВ в центре радиуса образца	440	454	Отклонение от цилиндричности, мкм	33	12
НВ в 7 мм от края	482	530	Шероховатость, по образующей, Ra, мкм	0,46	0,40

Таким образом, применение кованых заготовок при изготовлении ответственных и точных деталей является предпочтительным относительно отрезаемых от стандартных катаных прутков. Следует также отметить, что выявленные зависимости не являются характерными только лишь для сплава ВТ6 или вообще титановых сплавов. Так, проведённые на прутках и поковках из жаропрочной стали переходного класса 07X16Н6-Ш исследования показали схожие результаты в части нагрузок на инструмент при точении, шероховатости получаемой поверхности, а также измельчения зерна и повышения твёрдости материала образцов [12].

Выводы

1. Материала исходных горячекатаных прутков не в полной мере удовлетворяет требованиям к изготовлению ряда ответственных деталей ввиду наличия дефектов и нестабильной структуры. Повышенный уровень наследуемых от процесса прокатки напряжений затрудняет получение точных размеров проточенных заготовок.

2. Материал прутка отличается выраженными включениями фазы α' по границам зёрен, делающей его предрасположенным к развитию β - хрупкости. Всесторонняя ковка повышает однородность и трещиностойкость материала заготовок, обеспечивает получение приемлемых размеров зерна и типов микроструктуры.

3. Ввиду пониженной плотности металлического материала, токарная обработка горячекатаных прутков характеризуется повышенными нагрузками на инструмент и шероховатостью получаемой поверхности. Для получаемого в процессе точения микрорельефа поверхности заготовок характерно образование микровырывов при налипании частиц материала на режущий инструмент.

4. Применение всесторонней ковки является эффективным методом улучшения обрабатываемости заготовок из титанового сплава ВТ6 и повышения качества и стабильности обработанной поверхности, уменьшения его шероховатости и получения сливной стружки. Помимо этого за счёт последовательного перемещения очага деформации в теле поковки достигается хорошая равномерность свойств её материала, обеспечивающая в свою очередь меньший уровень внутренних напряжений и хорошую геометрическую точность заготовок после токарной обработки.

Список литературы

1. В.С. Иванова / Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов / –М.: Наука, 1992. -160 с.

2. ОСТ 1.90013-81 Сплавы титановые. Марки / –М.: ВИАМ, 1980. -14 с.

3. ОСТ 1.90266-86 Прутки катаные крупногабаритные из титановых сплавов. Технические условия / –М.: ВИАМ, 1976. -7 с.

4. Инструкция ВИАМ № 849-67 / К.Н. Фомин, К.П. Шилин / Ковка и штамповка деформируемых алюминиевых сплавов на прессах и молотах / –М.: МАП, 1967. -19 с.

5. ПИ1.2.108-79 / Ковка и штамповка титановых сплавов / –М.: ВИАМ, 1979. -17 с.

6. ПИ № 685-76 / Деформируемые титановые сплавы. Термическая обработка полуфабрикатов и деталей / –М.: ВИАМ, 1976. -13 с.

7. Г.И. Грановский, В.Г. Грановский / Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов / –М.: Высшая школа, 1985. 304 с.

8. ОСТ 18878-73 Резцы токарные проходные прямые с пластинами из твёрдого сплава. Конструкция и размеры / –М.: Издательство стандартов, 2017. -15 с., изм.

9. Инструкция ВИАМ № 1054-76 / Металлографический анализ титановых сплавов / –М.: ВИАМ, МАП, 1976. -14 с.

10. Б.А. Дроздовский, Л.В. Проходцева, Н.И. Новосильцева / Трещиностойкость титановых сплавов / –М.: «Металлургия», 1983. -192 с.

11. М.П. Марковец / О зависимости между твёрдостью и другими механическими свойствами металлов (обзор) / Исследование в области измерения твёрдости / с. 58...71 / –М., Л-д.: Издательство стандартов, 1967, 191 с, ил.

12. П.А. Головкин, С.В. Сбруйкина / Обеспечение качественной поверхности чистовых деталей и структуры их материала на этапе разработки технологического процесса горячей деформации стали 07Х16Н6-Ш / Материалы 39-х академических Королёвских чтений / –М.: ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, 2015, с. 230...231. -555 с.