

**ВЛИЯНИЕ КОВКИ НА СТРУКТУРУ МАТЕРИАЛА И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ
ЗАГотовок ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ СТАЛИ 07X16H6-Ш**

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

Крюков А. В., инженер

АО «ЦНИРТИ им. А.И. Берга», 107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 20, стр. 9.

minyuc@yandex.ru; тел.: (499) 267-43-93

**INFLUENCE OF FORGING ON THE STRUCTURE OF THE MATERIAL AND THE
QUALITY OF THE SURFACE OF WORKPIECES IN THE FINISH TURNING OF
STEEL AISI 301**

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

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.

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

Аннотация

На примере стали 07X16H6-Ш анализируется возможность построения сквозного технологического процесса, через ковку по специальным режимам, обеспечивающего получение качественной структуры и поверхности готовых деталей.

Annotaion

On the example of the Russian analogue of AISI 301 steel, the possibility of constructing a through technological process, through forging according to special modes, providing a high-quality structure and surface of finished parts, is analyzed.

Ключевые слова: сталь, ковка, прутки, поковки, детали, температура, структура материала, обрабатываемость, нагрузка на режущий инструмент, качество поверхности.

Key words: steel, forging, bar, forgings, parts, temperature, material structure, machinability, load on the cutting tool, surface quality.

Общие положения

В настоящее время отсутствуют отраслевые нормативные документы, которые определяли бы целесообразные технологические решения на отрезке от горячей пластической деформации заготовки до получения механически обработанной детали в части достижения её качественной поверхности и структуры. То есть, не отслеживается сквозное влияние воздействий на материал заготовки на его свойства, через один и более технологический переход. То же касается и открытой литературы.

На примере жаропрочной стали переходного класса 07X16H6-Ш, обозначаемой также как ЭП288-Ш и СН-2А [1, 2] выявлены зависимости между параметрамиковки и стабильностью хода обработки резанием, качеством поверхности и структурой материала детали. Недостатком стандартных прутков этой стали являются пониженные прочностные характеристики в поперечном направлении, при повышенном содержании газов и третьих фаз [1, 2]. Предложенные на основе синергетического подхода [3...4] технологические решения должны улучшить прочностных свойств заготовок относительно исходного полуфабриката, что оправдывает повышение производственных затрат на проведение ковочных операций.

Материал и методика эксперимента

Влияние параметровковки на структуру материала заготовок, их обрабатываемость и качество поверхности, исследовалось на примере исходной прутковой заготовки и трёх полученных по различным режимам с размерами после предварительной механической обработки с чистотой $R_a 3,2$ $\varnothing 70 \times 120$ мм.

Образец № 1: исходная заготовка – горячекатаный пруток $\varnothing 70 \times 120$ мм.

Образец № 2: нагрев заготовки $\varnothing 70 \times 140$ мм в газовой печи до 1180 °С, осадка до 60 мм, обкатка в исходный размер $\varnothing 75 \times 125$ мм.

Образец № 3: нагрев заготовки до 1180 °С, далее ковка по схеме 3 ВИАМ (осадка до 60 мм, протяжка поперёк волокна, осадка, до 60 мм, подогрев, протяжка поперёк волокна и осадка до 60 мм, протяжка поперёк волокна в размер поковки).

Образец № 4: нагрев заготовки до 1050 °С, далее ковка по схеме 3 ВИАМ.

Послековки образцы подвергались нормализации по режиму: отжиг при 780 ± 10 °С, выдержка 6 часов, охлаждение на воздухе до 20 °С, отпуск при температуре 680 ± 10 °С с выдержкой 4 часа и повторное охлаждение на воздухе до 20 °С [1, 2].

Механическая обработка проводилась на токарно-винторезном станке 16К20 на режиме: 200 об/мин, съёме 2 мм и подаче 0,05 мм на оборот шпинделя. Для проточки каждого образца применялся новый прямой проходной резец [5].

Структура материала рассматривалась при увеличении $450\times$ в поперечном от прокатки направлении, фактура проточенной поверхности изучалась при увеличении $100\times$. Твёрдость материала НВ определялась в точках по направлению от края к центру образца. Шероховатость поверхности образцов по их образующей определялась с помощью профилометра марки Taylor-Hobson, нагрузки на резец определялись с помощью специального цифрового динамометра.

Результаты и их обсуждение

Получены графики нагрузок на режущий инструмент (резец) по трем координатам: X, Y, Z (сила подачи, радиальная сила и сила резания) [6, 7] при проточке по образующей (наружному диаметру), и по торцу образцов. Фото на рисунке 1 отражают повышенную дефектность и крупное зерно в срединной части исходного прутка и полученной по режиму 1 поковки, вызванные в том числе, явлением опережения при прокатке и подобным ему перемещением приповерхностных слоёв поковки при её обкатке в размер после осадки [8, 9]. Приведённое на графиках рисунков 3 и 4 распределение нагрузок на резец при точении прутка также показывает его неравномерную обрабатываемость. В целом, распределение сил при точении образцов отвечает классическому, когда сила подачи P_x равна от $1/8$ до $1/4$ величины силы резания P_z , а радиальная сила (усилие поперечной подачи) составляет от $1/4$ до $1/2$ силы резания [6, 7], как это видно по таблице 2.

Из представленных в таблице 1 данных видно, что твёрдость материала растёт с увеличением улова и уменьшением температуры деформации, при этом наибольший уровень нагрузок наблюдается при обработке прутка и поковки номер 1. Это объясняется тем, что пониженная плотность срединных слоёв этих заготовок вызывает налипание их материала на резец, вызывая рост приходящих на него нагрузок.

Рисунки 1 и 2 показывают трооститно-мартенситную [10] структуру материала, где доля мартенсита тем больше, чем выше была температура и равномернее достигнутая деформация. В противном случае по границам зёрен наблюдаются прослойки феррита, а структура напоминает видманштеттову [11]. При этом в материале исходного прутка имеется множество расположенных у тройных стыков зёрен микропустот и вкраплений третьих фаз, в основном карбидов и интерметаллидов [11], содержание которых растёт к центру сечения прутка, что объясняется явлением опережения при прокатке [8]. С ростом проковки, от образца 2 к образцу 4, структура материала повокков совершенствуется и становится более однородной.

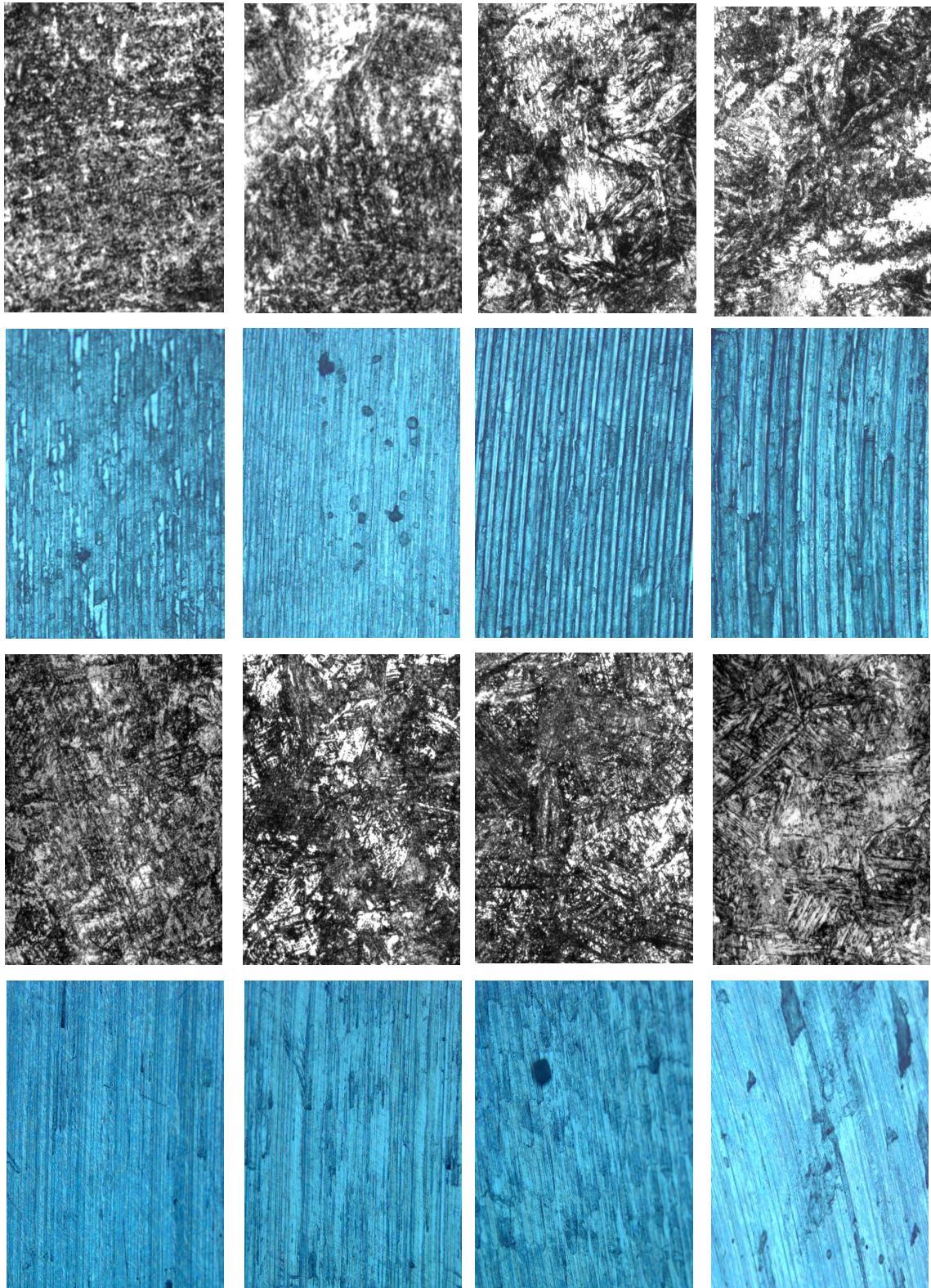
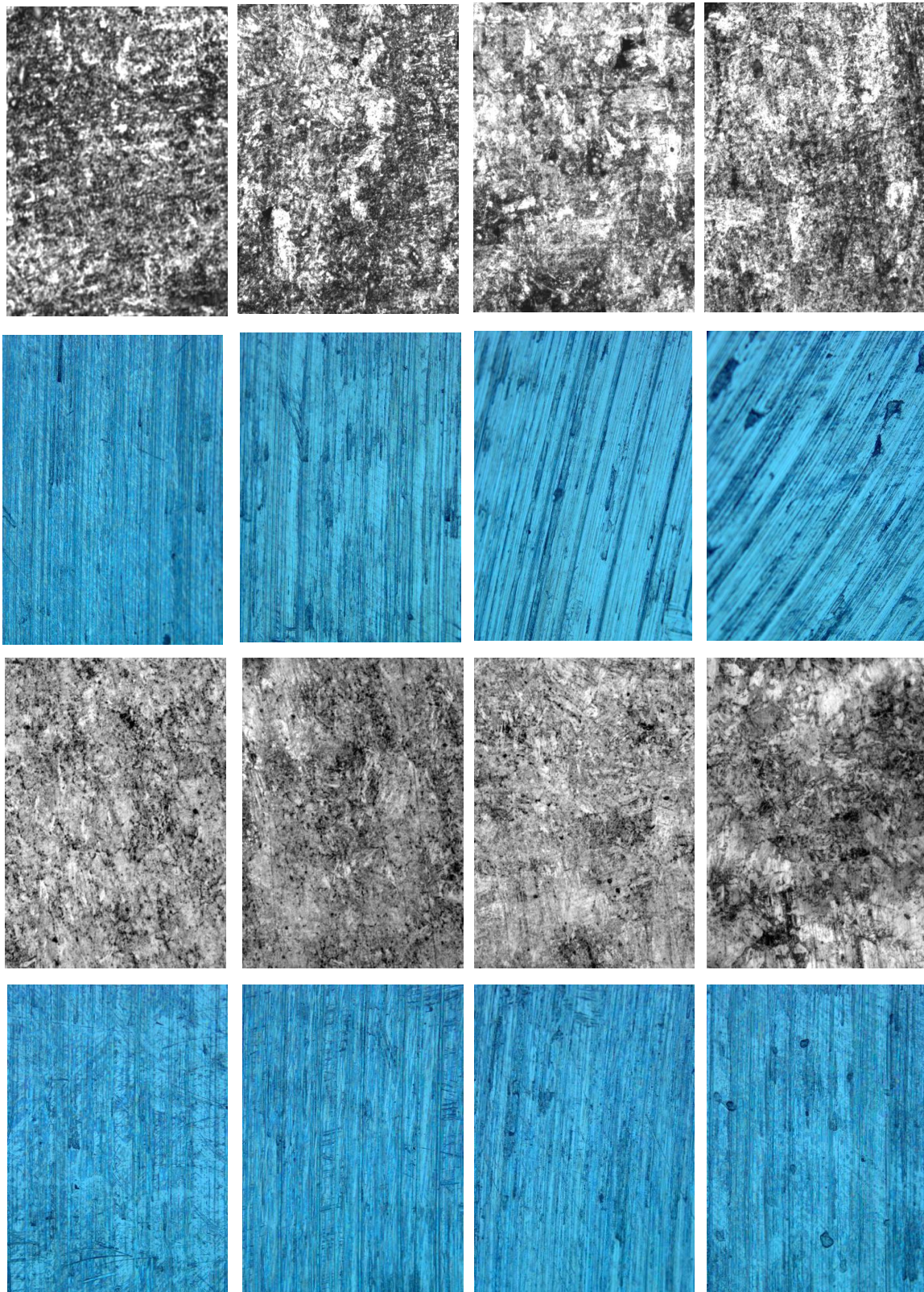


Рис. 1. Микроструктура ($\times 450$) и рельеф ($\times 100$) обработанной поверхности в контрольных точках прутка (вверху) и поковки 1

Fig. 1. Microstructure ($\times 450$) and relief ($\times 100$) of machined surface at the check points of the bar (above) and of the forging 1



**Рис. 2. Микроструктура ($\times 450$) и рельеф ($\times 100$) обработанной поверхности
в контрольных точках поковок 2 (вверху) и 3 (внизу)**

**Fig. 2. Microstructure ($\times 450$) and relief ($\times 100$) of machined surface at the check points
of forgings 2 (above) and 3 (below)**

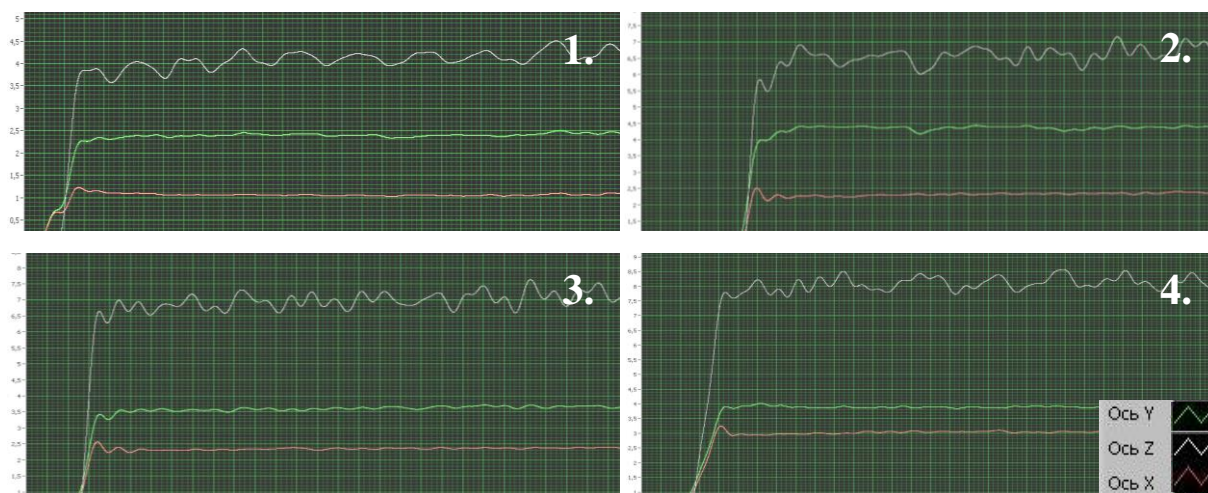


Рис. 3. Нагрузки при точении по образующей образцов 1...4.

Fig. 3. Loads under lathe turning along the generatrix of specimens 1...4.

Along the horizontal axis: time, seconds; along the vertical axis: load on the cutter, kg.
axis x, axis y, axis z

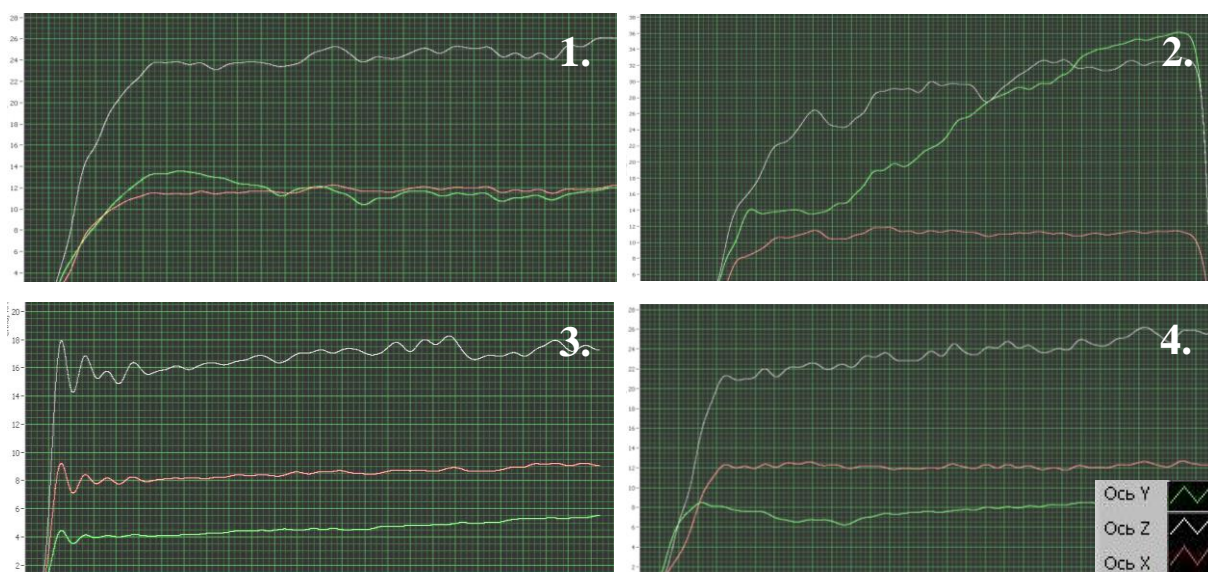


Рис. 4. Нагрузки при торцевом точении образцов 1...4.

Fig. 4. Loads under end turning of specimens 1...4.

Along the horizontal axis: time, seconds; along the vertical axis: load on the cutter, kg.
axis x, axis y, axis z

Таким образом, пролеживаются три зависимости. Первая: по мере увеличения степени накопленной деформации и понижения её температуры растёт твёрдость материала и уровень нагрузок на резец. Вторая зависимость: недостаточная

деформационная проработка материала срединной части поковок вызывает резкий рост нагрузок на обрабатывающий инструмент вследствие его налипания. И третья зависимость: совпадение размера зерна и величины съёма и / или подачи резца вызывает образование многочисленных дефектов типа вырыв.

С термодинамической точки зрения, являясь частным случаем поверхности раздела, границы зёрен являются зоной энергетического равновесия, и формируются из вытесняемых основным металлическим материалом вовне примесей.

Таблица 1.

Размер зерна, твёрдость и шероховатость контрольных образцов

Table 2

Grain size, hardness and roughness of check specimens

№ образца	№ точки измерения и размер зерна (\approx) / твёрдость в контрольной точке, мкм / НВ				Шероховатость при проточке R_a , мкм	
	1	2	3	4	По образующей	По торцу
1 (пруток)	100 / 341	125 / 341	150 / 302	200 / 302	0,72	3,8
2 (поковка)	80 / 352	100 / 352	125 / 297	150 / 262	0,59	3,73
3 (поковка)	20 / 375	25 / 388	30 / 388	40 / 375	0,54	3,71
4 (поковка)	15 / 388	20 / 388	25 / 433	30 / 388	0,46	3,67

Таблица 2.

Нагрузки по осям при проточке по образующей и по торцам образцов

Table 2

Axial loads when grooving along the generatrix and along the ends of the specimens

№ образца	Нагрузки по осям при проточке, кг					
	по образующей			по торцу		
	x	y	z	x	y	z
1 (пруток)	1,0 \pm 0,1	4,0 \pm 0,4	2,4 \pm 0,1	8...12	14...32,3	14...36
2 (поковка)	2,3 \pm 0,2	6,5 \pm 0,5	4,4 \pm 0,2	10...12	10...13,8	24...26
3 (поковка)	2,3 \pm 0,2	7,0 \pm 0,5	3,6 \pm 0,2	12 \pm 0,2	6...9	21...26
4 (поковка)	3,0 \pm 0,1	7,0 \pm 0,5	3,8 \pm 0,1	8...9	4...5,8	16...18

Повышая свою упорядоченность и уменьшая энергию, материал укрупняет своё зерно [12], дробление которого при ковке уменьшает относительное содержание зернограницных примесей, делая материал детали более однородным и сбалансированным по свойствам [4, 5].

Сопоставление структуры материала и фактуры поверхности образцов показало, что совпадение размера зерна и величины съёма и подачи инструмента, приводит к вырывам материала и его налипанию на резец, как это видно на рисунках 1 и 2, что происходит обычно у тройных стыков зёрен, где имеют место скопления примесных фаз [13]. Сопоставление металлографии образцов и фотографий их обработанной поверхности с представленными на рисунке 5 данными их профилометрии показывает, что ковка при пониженных температурах всесторонне улучшает структуру материала заготовок и его обрабатываемость при токарной обработке на установленных режимах.

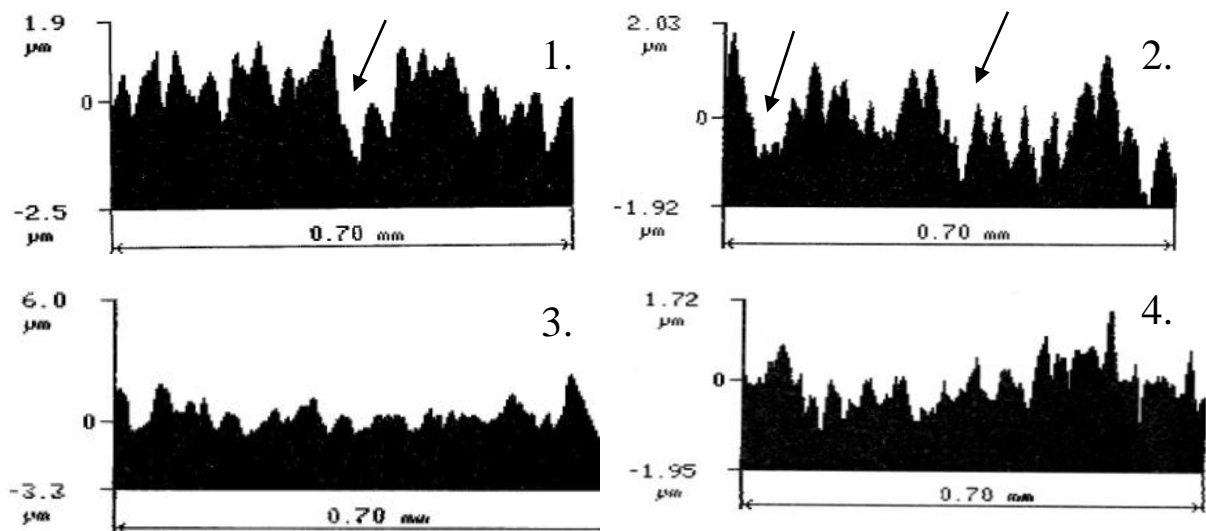


Рис. 5 . Профилометрия проточенных по образующей образцов 1...4

Fig. 5. The profilometry of specimens 1...4 grooved along the generatrix

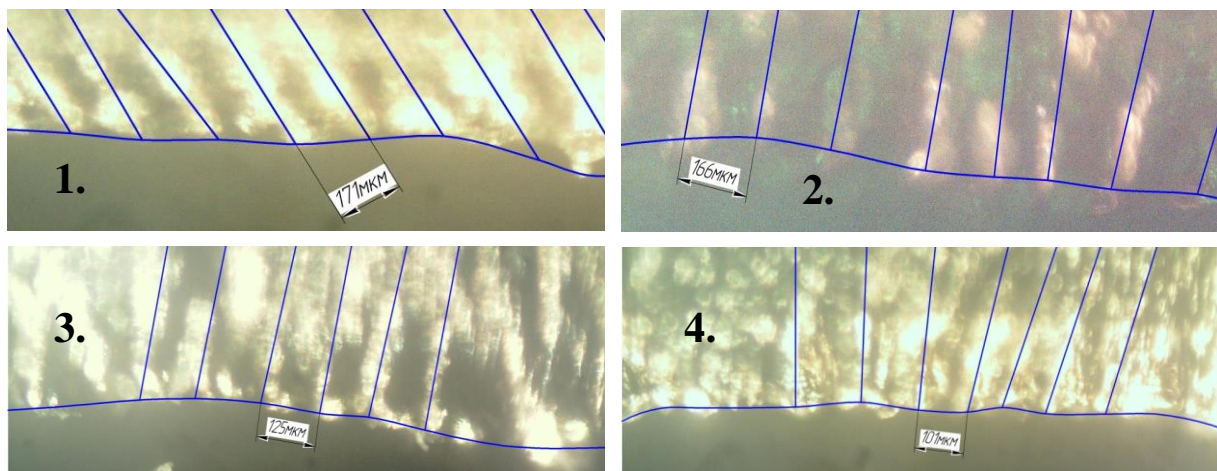


Рис. 6. Излом стружки при проточке по образующей образцов 1...4

Fig. 6. Chip breaking when grooving along the generatrix of the specimens 1...4

Таким образом, структура заготовки оказывает непосредственное влияние на её обрабатываемость, и чем выше температураковки и меньше достигнутая деформационная проработка заготовки, тем крупнее зерно её материала, и грубее поверхность образца. Напротив, гармонизация структуры материала заготовки совершенствует фактуру поверхности получаемой чистовой детали, снижает величину внутренних напряжений.

В результате, как видно на рисунке 6, разрушение элементов стружки учащается с 170 мкм при обработке исходного прутка, через 165 мкм на образце номер 1, до 125 мкм и 100 мкм на образцах 2 и 3, полученных из заготовок, прокованных по схеме 3 с нагрева до 1180 °С и 1050 °С соответственно.

Выводы

1. Структура материала стандартных прутков из стали 07Х16Н6-Ш отличается высокой неоднородностью ввиду явления опережения при их прокатке, что плохо отражается на их токарной обработке, вызывает неравномерные повышенные нагрузки на резец и приводит к образованию дефектов на поверхности образцов.

2. Ковка стали по сложным схемам при пониженных температурах гармонизирует структуру металлического материала, улучшает его обрабатываемость и фактуру поверхности, особенно заметно – при торцевой проточке. Наилучшие результаты достигаются при ковке по схеме 3 ВИАМ с нагрева до 1050 °С.

3. Применение такойковки исходных заготовок при прочих равных условиях снижает нагрузку на токарный инструмент примерно на 25...30 %, повышает твёрдость материала заготовок на 12...20 % при уменьшении среднего размера зерна со 100...200 до 15...30 мкм. При этом шероховатость обработанной поверхности при проточке по образующей заготовок снижается с $R_a \approx 0,72$ до $\approx 0,46$ мкм, а дробность сходящей стружки уменьшается с ≈ 170 мкм до ≈ 105 мкм.

4. Следование синергетическому подходу компенсирует затраты на проведения ковочных операций по сложным схемам улучшенной обрабатываемостью уплотнённого материала заготовок и достигаемым качеством поверхности деталей, а также меньшими нагрузками на токарный инструмент.

Список литературы

1. Применение и термическая обработка стали 07Х16Н6 (ЭП288, СН-2А): ПИ 1.2.038-77 / –М.: ВИАМ, 1978. -7 с.

2. Авиационные материалы. Справочник. Т. 2. Коррозионностойкие и жаростойкие стали и сплавы / –М.: ВИАМ, ОНТИ, 1975. -372 с.
3. В.С. Иванова / Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов / –М.: Наука, 1992. -160 с.
4. В.С. Иванова / Усталостное разрушение металлов / –М.: Metallurgizdat, 1963. -272 с.
5. ОСТ 18878–73 Резцы токарные проходные прямые с пластинами из твёрдого сплава. Конструкция и размеры / –М.: Издательство стандартов, 2017. -15 с., изм.
6. И.С. Амосов, В.А. Скраган / Точность, вибрации и чистота поверхности при токарной обработке / Изд. 2-е, перераб. и доп. под об. ред. к.т.н. М.А. Ансера / –М.; –Л.: Машгиз, 1958. -90 с.
7. В.С. Корсаков / Точность механической обработки / –М.: Машгиз, 1961. -380 с.
8. Теория прокатки. Справочник / Целиков А.И., Томлёнов А.Д., Зюзин В.И., др. / –М.: Metallurgiya, 1982. -335 с.
9. Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин / Теория процессовковки / –М.: Высшая. школа, 1977. -295 с.
10. ГОСТ 8233-56 Сталь. Эталоны микроструктуры / –М.: Издательство стандартов, 2004. -12 с.
11. И.П. Кушталова / Рекристаллизация и дисперсионное упрочнение металлов и сплавов / Институт проблем материаловедения АН УССР / –Киев: Наукова думка, 1969. -124 с.
12. Б.С. Бокштейн, Ч.В. Капецкий, Л.С. Швиндлерман / Термодинамика и кинетика границ зёрен в металлах / –М.: металлургия, 1986. -224 с;
13. Г.В. Клевцов / Пластические зоны и диагностика разрушения металлических материалов / –М.; «МИСиС», 1999. -112 с.; ил.