

Табл.1. Перевозки грузов (тыс. т) и пассажиров (млн. чел.) всеми видами транспорта

Перевозка грузов	1995	2000	2012
Всего	35786,6	38052,5	35660,8
Железнодорожный	945,9	978,7	1047,6
Автомобильный	31045,6	36449,5	34349,9
Трубопроводный	235,3	585,5	265,6
Водный	35,4	35,5	7,4
Воздушный	4,7	3,3	0,9
Перевозка пассажиров	1995	2000	2012
Всего	402,6	462,9	550,44
Железнодорожный, тыс. чел	411,2	590,3	549,18
Автобусы	387,0	393,1	515,14
Троллейбусы	54,2	66,4	17,68
Такси	2,0	2,5	16,36
Воздушный, тыс.чел	246,0	272,6	747,7

В настоящее время перед транспортным сектором Кыргызской Республики стоят следующие проблемы:

- подвижной состав устаревшие (локомотивы, вагоны, самолеты, автотранспортные средства и др.)
- коммуникации не отвечает к требованиям (автомобильные дороги и железнодорожные сооружения, аэропорты, аэродромы и т.д)
- законодательная база не развита, не гармонизирована с другими странами
- кадровый состав имеет слабые подготовки.

В отношении 1 и 2 пункта Правительством республики принимаются соответствующие меры (обновление подвижного состава, улучшение всех коммуникаций отвечающих международным требованиям и т.д.

По подготовке специалистов с высшим образованием транспортного направления занимается более 10 вузов и их филиалы Кыргызстана, головным из которых является КГТУ им. И. Раззакова, где разрабатываются стандарты, нормативные документы для подготовки специалистов. КГТУ в свою очередь входит в состав МААДО (Международной Ассоциации Автомобильного и Дорожного Образования) где числятся более 250 вузов стран дальнего и ближнего зарубежья, разрабатываются нормативные документы, отвечающие международным требованиям. Со 2 по 5 октября 2012 года на базе КГТУ было проведено выездное заседание МААДО и УМО по автотранспортным направлениям. Профессорско-преподавательский состав КГТУ активно участвует в разработке нормативных документов транспортной деятельности республики, гармонизирующих с международными документациями. В частности сотрудничество университета с МСАТ (Международного союза автомобильного транспорта), созданного в 1948 г. в г. Женеве и включающем в состав более 70 стран мира, дает большой импульс в развитии международной перевозки грузов и пассажиров. Ежегодно проводятся семинары, конференции, посвященные к повышению эффективности работы транспорта. Проводятся научно-исследовательские работы, защищаются кандидатские и докторские диссертации, функционирует Диссертационный Совет. Научно-исследовательские работы направлены на повышение эффективности и безопасности работы транспорта.

Список литературы

1. Автомобильный транспорт Кыргызстана – 2013 “Синяя книга” IRU, Бишкек, 2013

УДК 669.35.074.669.539.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ СТРУКТУРЫ ЗАГОТОВОК КОВКОЙ В ПЛОСКИХ И КОМБИНИРОВАННЫХ БОЙКАХ ДЛЯ ШТАМПОВКИ КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК

Машеков Серик Акимович, доктор технических наук, профессор кафедры «Станкостроение, материаловедение и технология машиностроительного производства Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпева
e-mail: mashekov.1957@mail.ru

Нуртазаев Адилжан Елеуович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Станкостроение, материаловедение и технология машиностроительного производства Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпева

Нурахметова К. К., аспирант кафедры

В статье путем компьютерного моделирования технологического процессаковки в плоских и комбинированных бойках, а также высадки в инструменте с изменяющей формой определены рациональные режимы деформирования заготовок, позволяющие получить компрессорные лопатки с мелкозернистой структурой.

Ключевые слова: протяжка, бойки, высадка, штамповка, лопатка.

Abstract. In the article the rational modes of the workpiece deformation was defined. The modes was defined by computer simulating of the technological process of the pressing in flat and combined strikers, and also of the upset with the chaging shape. The modes allow to get compressor blades with the fine-grained structure.

Keywords: broach, strikers, upset, stamping, blades

Введение

Компрессорная лопатка авиационного двигателя является одной из наиболее важных и массовых деталей в авиационном машиностроении [1]. Лопатки компрессора высокого давления имеют значительные перепады площадей поперечного сечения на участке замок-перо, что затрудняет их изготовление. Особенно это заметно на лопатках последних ступеней компрессора.

В настоящее время при изготовлении поковок компрессорных лопаток широко используются следующие технологические схемы [2,3]: штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах, штамповка с предварительной высадкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) и электровысадочных машинах, штамповка с предварительной вальцовкой и изотермическая штамповка. При этом, стоит отметить, что применение данных процессов к изготовлению поковок титановых компрессорных лопаток со значительным перепадом площадей поперечного сечения не эффективно: вальцовку на заготовительном переходе столь маленьких лопаток невозможно осуществить, для процессов высадки и электровысадки будет превышена допустимая степень деформации, а значит потребуются отжиг для снятия напряжений, что приведет к увеличению альфированного слоя, кроме того высадка таких лопаток будет требовать минимум 4 переходов на ГКМ, изотермическая штамповка позволяет избежать дополнительного нагрева и имеет высокий коэффициент использования металла, но при этом она более энергозатратна и имеет низкую производительность, поэтому суммарный экономический эффект будет минимальный. Именно по этой причине при штамповке таких лопаток применяются технологии, при которых либо идет минимальное фасонирование пера лопатки при помощи процесса выдавливания и используется окончательная штамповка, либо просто штамповка в один переход с последующей обработкой высокоскоростным фрезерованием.

Необходимо отметить, что при штамповке компрессорных лопаток особое внимание уделяют тщательной подготовке структуры заготовок, т.е. получению ковкой заготовок с ультрамелкозернистой структурой, которые обладают уникальными физико-механическими свойствами (высокая прочность, сверхпластичность, высокая усталостная прочность, износостойкость и другие) [4]. Материалы с ультрамелкозернистой структурой рассматриваются как перспективные конструкционные и функциональные материалы, которые могут найти применение в таких приоритетных отраслях как авиационная промышленность, транспорт и энергетика, в частности для изготовления деталей авиационных двигателей и наземных газотурбинных установок.

Во многих случаях при изготовлении деталей авиационных двигателей такие как компрессорная лопатка в качестве исходных заготовок используют прутки из титанового сплава ВТ6 (Ti-6,5Al-5,1V) с ультрамелкозернистой структурой длиной 140 мм диаметром 20 мм. Прутки с ультрамелкозернистой структурой в основном получают всесторонней изотермической ковкой (ВИК) [4] в интервале температур 800-630 °С со скоростью деформации 10^{-3} с^{-1} и последующей протяжкой при температуре 630-650 °С. Из прутков изготавливают лопатки методом изотермической штамповки (ИЗШ) при температуре 650°С.

Однако, технология ВИК для получения заготовок с ультрамелкозернистой структурой характеризуются высокой трудоемкостью, низкой производительностью и большими материальными затратами [5]. Связано это с тем, что для получения рекристаллизованной структуры в существующей технологии применяются многократная осадка и протяжка при температурах 800-630 °С, при этом единичные обжатия не превышают 15...40 %.

В настоящей работе исследована возможность получения из сплава ВТ6 по высокопроизводительной и энергосберегающей технологии заготовок с ультрамелкозернистой структурой и изготовление из них поковок компрессорных лопаток. Поэтому предлагается новая технология изготовления поковок компрессорных лопаток: нагрев, изотермическая протяжка в плоских и комбинированных бойках в интервале температур 800-630 °С со скоростью деформации 10^{-3} с^{-1} , высадка замковой части в инструменте с изменяющей формой и ИЗШ при температуре 650°С.

Материалы и методика эксперимента

Для расчета НДС использовали специализированную стандартную программу MSC.Super Forge [6]. Трехмерная геометрическая модель заготовки и бойка была построена в САД программе Inventor и

импортирована в САЕ программу MSC.SuperForge. При создании конечно-элементной модели заготовки и бойка был использован трехмерный объемный элемент CTETRA (четырёхузловой тетраэдр).

Для расчета использовали цилиндрический образец размером $\varnothing 80 \times 400$ мм. Из базы данных материалов назначили материал протягиваемой заготовки титановый сплав ВТ6 с температурным диапазоном деформирования 630...1100°C и инструментальную сталь. Для моделирования пластичности материала заготовки выбрали упругопластическую модель Джонсона-Кука. Контакт между бойком и заготовкой смоделирован трением по Кулону, коэффициент трения был принят 0,3.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 и 2 представлены картины распределения интенсивности деформаций по сечению заготовки при протяжке в плоских бойках при первом обжатии и при деформировании с углами кантовки 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°.

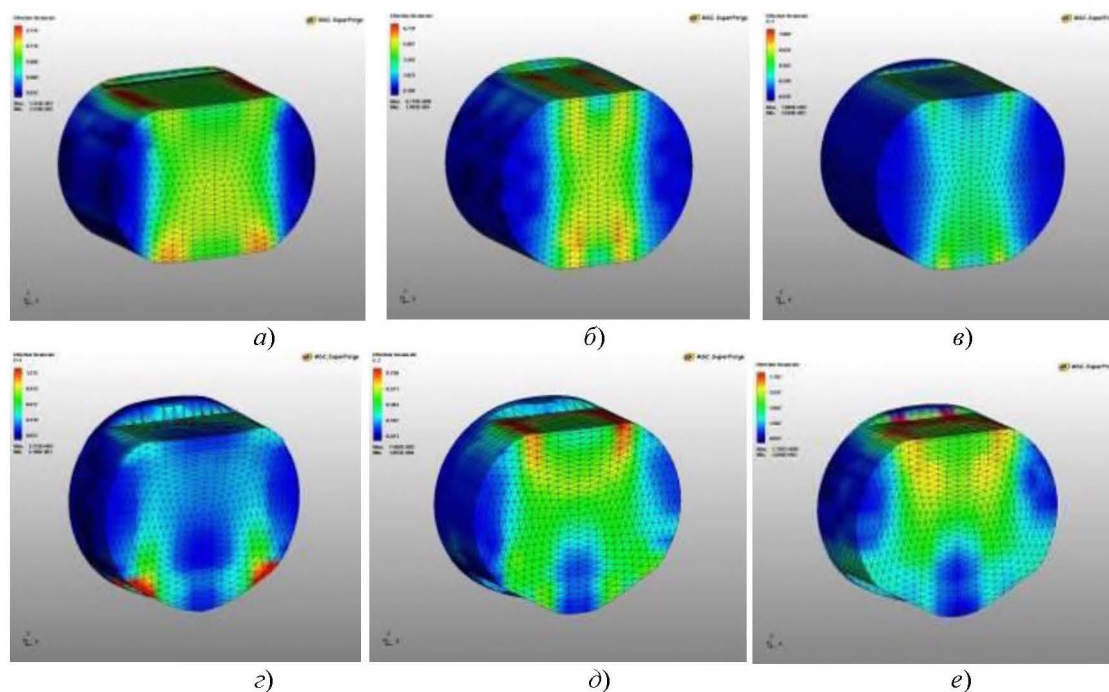
На основе полученных результатов численного моделирования установлено, что:

- при протяжке круглой заготовки в плоских бойках с относительными подачами $S = l/D = 0,6 \dots 1,0$ (где l – длина очага деформации; D – диаметр заготовки) интенсивность деформации локализуется на начальном этапе первого обжатия в поверхностных зонах заготовки, а с увеличением обжатия локализуется по ковочному кресту (рис.1, а, б, в);

- при протяжке в плоских бойках с увеличением обжатия акцент деформации переносится в центр заготовки ($S = 1,0$), или максимальная по величине деформации сосредотачивается в средней зоне ($S = 0,8$) или близкой к поверхностной зоне ($S = 0,6$) заготовки;

- при протяжке в первом проходе с относительной подачей 1,0 и единичными обжатиями 20 %, из-за действия контактных сил трения, часть объема геометрического очага деформации оказывается в зонах затрудненной деформации, а при протяжке с относительной подачей 0,6...0,8 и единичным обжатием 20 %, небольшая часть объема геометрического очага деформации оказывается в зонах затрудненной деформации;

- локализация деформации в зоне ковочного креста и в местах перехода от деформируемой к недеформируемой части заготовки приводит к повышению тепловыделения и опасности разрушения металла в этих зонах с одной стороны, и к недостаточной деформации структуры в остальном объеме заготовки и к разнотекстурности структуры по сечению, с другой стороны;



$$a, c - S = 1,0; \quad b, d - S = 0,8; \quad e - S = 0,6$$

Рис. 1. Картина распределения интенсивности деформации в заготовке при протяжке в плоских (а, б, в) и комбинированных (г, д, е) бойках с единичным обжатием 20%, $t = 800^\circ\text{C}$

- кантовка заготовки на 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180° и деформирование с обжатиями 10, 15 % независимо от величины относительной подачи приводит к локализации деформации на поверхности заготовки, а увеличение обжатия до 20 % позволяет сосредоточить деформации от поверхности до центра, при этом с увеличением обжатия происходит разворот участков с максимальными деформациями по сечению заготовки;

- при ковке круглой заготовки в плоских бойках с кантовкой 30°, 60°, 90°, 120°, 150° и 180° из-за разворота зон с максимальными деформациями по сечению заготовки интенсивно развиваются макросдвиговые деформации по очагу деформации, что будет приводить к интенсивному измельчению в структуре металла (рис.2);

- в процессе протяжки в плоских бойках в зонах локализации деформации повышается температура заготовкой.

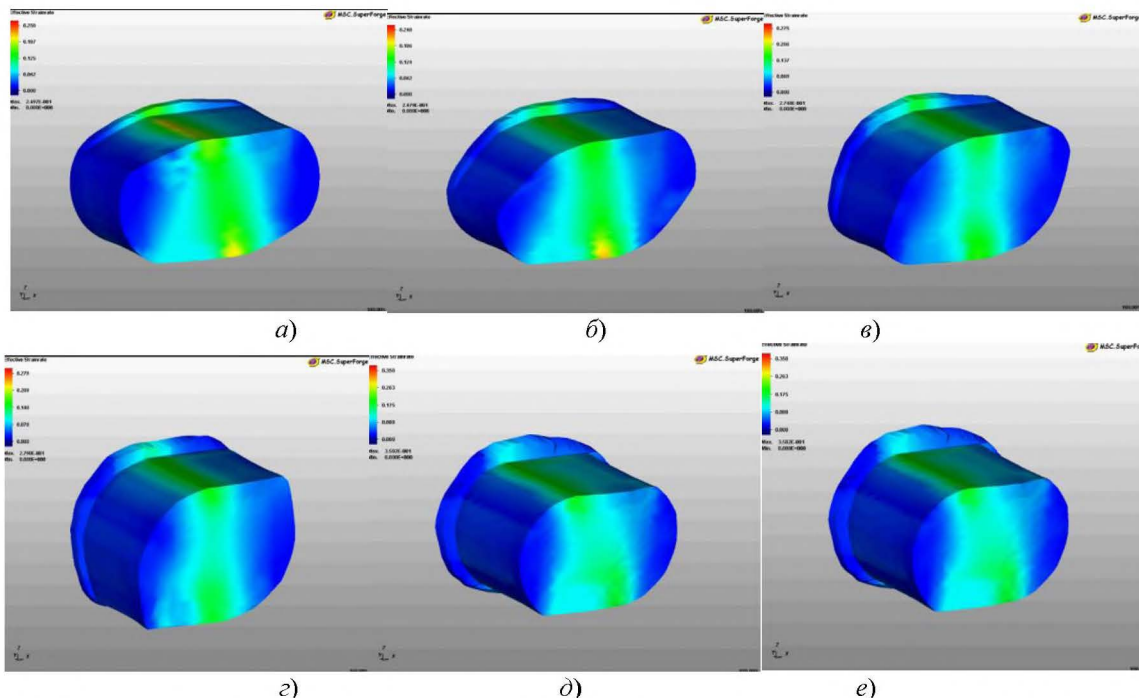


Рис. 2. Картина распределения интенсивности деформаций в заготовке при протяжке в плоских бойках с единичным обжатием 20% и с кантовкой 30° (а) и 60° (б), 90° (в) и 120° (г), 150° (д) и 180° (е)

Путем суммирования интенсивности деформации произвели расчет степени деформации сдвига Λ (накопленной деформации) для ряда технологических режимовковки в плоских бойках.

Анализ эпюр изменения Λ по сечению заготовки при протяжке с кантовкой 30°, 60°, 90°, 120°, 150° и 180° и относительной подачей $S = l/D = 0,8...1,0$ показывает, что при рациональном режиме деформирования степень деформации сдвига имеет наибольшее значение в прилегающих к инструменту зонах заготовки, а также в центральных слоях заготовки. При этом в поверхностных участках имеют наименьшие значения (рис. 3, где l_i и D_i – расстояние до исследуемой точки по длине и диаметру; l_0 и D_0 – длина и диаметр очага деформации, соответственно).

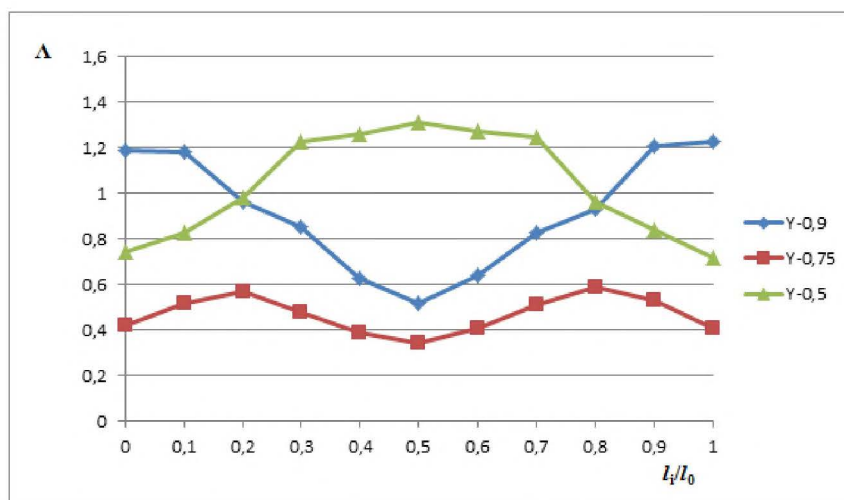


Рис. 3. Распределение Λ по продольному сечению заготовки при протяжке в плоских бойках с относительной подачей 1,0 (\diamond - $D_i/D_0 = 0,9$; \square - $D_i/D_0 = 0,75$; Δ - $D_i/D_0 = 0,5$)

Картины распределения интенсивности деформации по сечению заготовки при протяжке в комбинированных бойках в первом обжатии и при деформировании с углами кантовки 30° , 60° , 90° и 120° представлены на рис. 1 и 4.

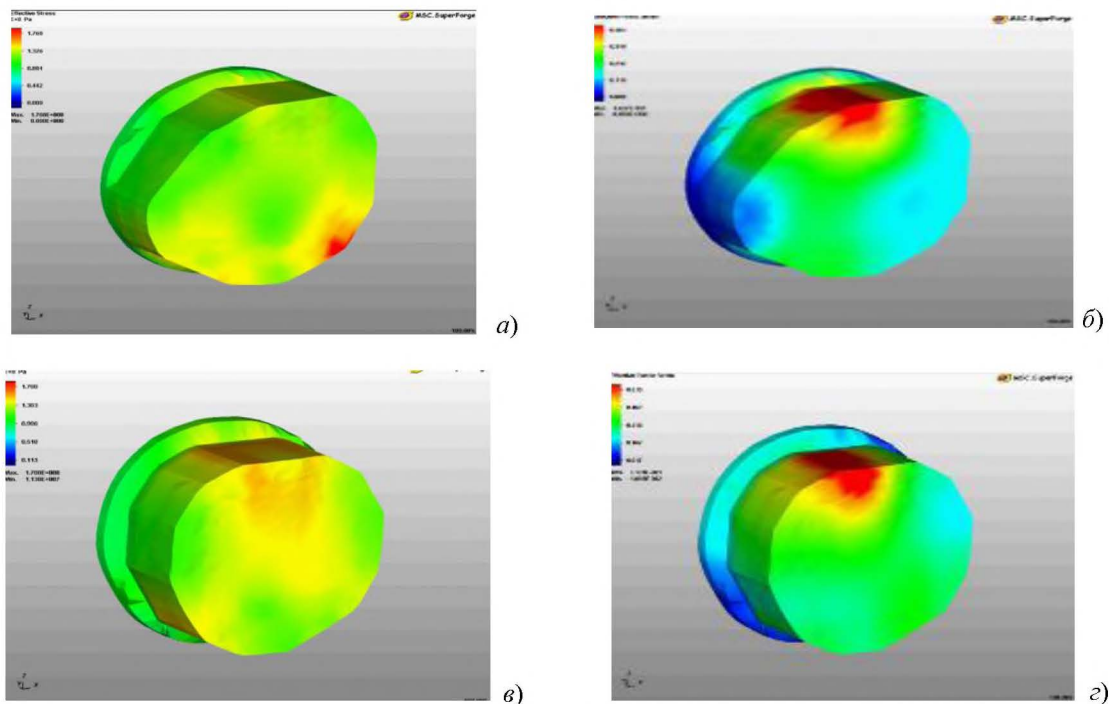


Рис. 4. Картина распределения интенсивности деформаций при ковке в комбинированных бойках с единичным обжатием 20% и углами кантовки 30° (а) и 60° (б), 90° (в) и 120° (г), $t = 800^\circ\text{C}$

На основе полученных результатов численного моделирования установлено, что:

- при первом обжатии в комбинированных бойках интенсивность деформаций имеет большое значение на участках, прилегающих к участку контакта инструмента с заготовкой, в то время как в свободных от нагрузки поверхностных участках заготовки возникают минимальные по величине деформации;
- при протяжке круглой заготовки в комбинированных бойках с относительными подачами $S = l/D = 0,6 \dots 0,8$ интенсивность деформации сосредотачиваются в начальном этапе первого обжатия в поверхностных зонах заготовки, а с увеличением обжатия интенсивность деформации локализуются по ковочному кресту (рис. 1);
- увеличения единичного обжатия при протяжке в комбинированных бойках с относительными подачами $S = l/D = 0,6 \dots 0,8$ приводит к расширению зон локализации интенсивности деформации, при этом максимальные по величине деформации сосредотачиваются под плоским бойком;
- протяжка с относительной подачей $S = 1,0$ приводит к переносу зоны локализации деформации от участка соприкосновения заготовки с плоским бойком к участкам соприкосновения заготовки с вырезным бойком;
- в процессе протяжки с кантовкой 30° , 60° , 90° , 120° независимо от величины подачи, интенсивность деформации сосредотачивается на участках контакта металла с инструментом, но между участками контакта инструмента и заготовки возникают средние по величине напряжения и деформации (рис. 4).

Анализ эпюр изменения Λ по сечению заготовки при протяжке в комбинированных бойках показывает, что при наиболее рациональном режиме протяжки с относительной подачей 0,6 и углом кантовки 30° степень деформации сдвига имеет большое значение на участках, прилегающих к поверхности заготовки, в то время как в центральной зоне заготовки – минимальную величину (рис. 5).

Результаты расчета степени деформации сдвига показали, что более равномерное распределение Λ по сечению деформируемой заготовки можно достичь при протяжке с углом кантовки 30° , 60° , 90° , 120° , 150° и 180° и относительной подачей 1,0 в плоских бойках на первом этапе, с углом кантовки 30° , 60° , 90° , 120° и относительной подачей 0,6 в комбинированных бойках на втором этапе.

Таким образом, по этапной протяжкой круглой заготовки в плоских и комбинированных бойках можно получить поковку с мелкозернистой структурой с высокими механическими свойствами.

На рис. 6 представлены картины распределения интенсивности деформаций и температурного поля по сечению заготовки при высадке в инструменте с изменяющей формой.

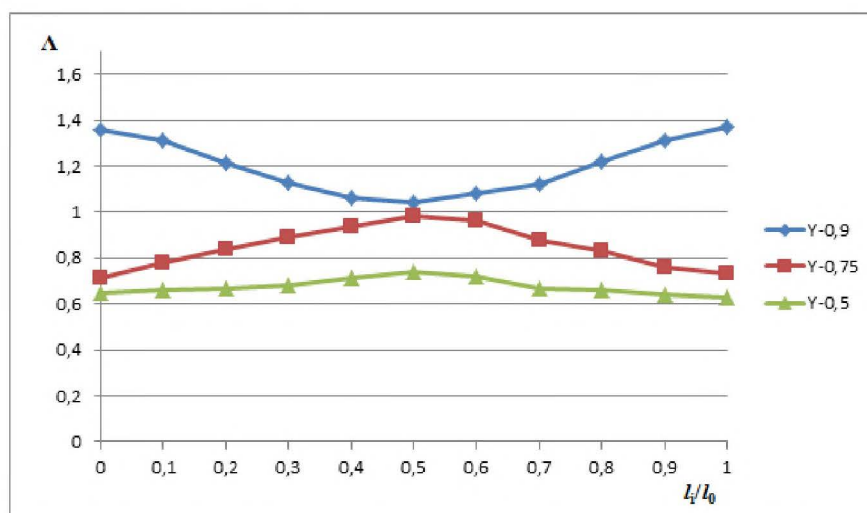


Рис. 5. Распределение Λ по продольному сечению заготовки при протяжке в комбинированных бойках с относительной подачей 0,6 (\diamond - $D_i/D_0 = 0,9$; \square - $D_i/D_0 = 0,75$; Δ - $D_i/D_0 = 0,5$)

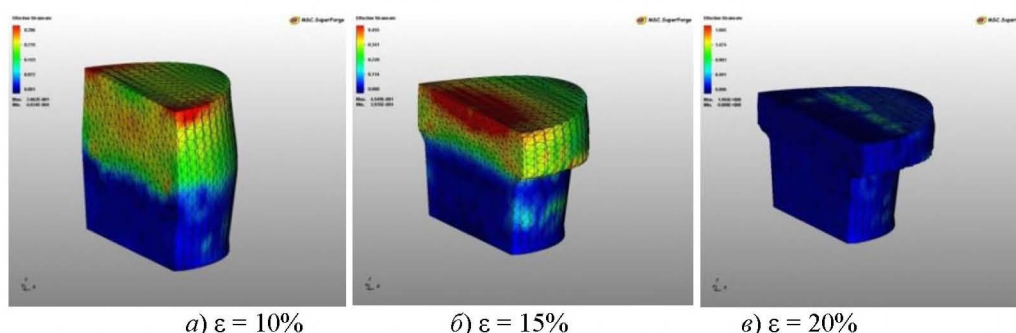


Рис. 6. Картина распределения интенсивности деформаций (а, б, в) и температурного поля в заготовке при высадке в инструменте с изменяющейся формой, $t = 750^\circ\text{C}$

На основе полученных результатов численного моделирования установлено, что:

- 1) в начальный момент высадки в инструменте с изменяющейся формой интенсивность деформации локализуется в контактных зонах заготовки с инструментом (рис. 6, а, б, в);
- 2) увеличение единичного обжатия приводит к переносу акцента интенсивности деформаций от контактной поверхности к периферии высаживаемой части заготовки (рис. 6, а, б, в);
- 4) в процессе высадки в зонах локализации деформации повышается температура;
- 5) с увеличением единичного обжатия максимальная величина контактного давления переносится от оси к периферии заготовки;
- 6) характер скорости течения металла аналогичен распределению интенсивности деформации по сечению высаживаемой заготовки;
- 7) при высадке в инструменте с изменяющейся формой приращение степень деформации сдвига распределяется равномерно по сечению высаживаемой части заготовки;
- 8) благодаря меньшей контактной поверхности и благоприятным условиям трения деформирующие усилия при высадке в инструменте с изменяющимся формой рабочей поверхности почти в 10 раз меньше, чем при обычной высадке.

Для исследования эволюции микроструктуры использовали модель глобуляризации титанового сплава ВТ6 по Джонсону-Мейлу-Аврами-Колмогорову, полученная в работе [7]. По данной модели произвели расчет объемную долю и средний размер глобулярных зерен титанового сплава ВТ6.

Критическую деформацию, необходимую для формирования глобулярных зерен определяли по формуле:

$$\varepsilon_c = a_1 \varepsilon_p,$$

где $a_1 = 1$ – постоянный коэффициент [7];

$\varepsilon_p = 0,5$ – интенсивность деформации при котором начинается формирования глобулярных зерен.

Объемная доля глобулярных зерен α -фазы вычисляли с использованием уравнение Аврами [7]:

$$X_{rex} = 1 - \exp \left[-\beta_d \left(\frac{\Lambda}{\Lambda_{0,5}} \right)^k \right],$$

где β_d и k – константы материалов (значение констант материалов приведены в работе [7]);

$\Lambda_{0,5} = a_2 \dot{\epsilon}^{m_1}$ – степень деформацию при котором проходит в структуре металла 50% рекристаллизации;

a_2 и m_1 – эмпирические параметры, позволяющие определить влияние скорости деформации на формирование глобулярных зерен [7];

$\dot{\epsilon}$ – скорость деформации, с^{-1} .

Для вычисления среднего размера глобулярного зерна использовали формулу [7]:

$$d_{cp} = a_3 \Lambda^{n_1} \dot{\epsilon}^{m_2},$$

где a_3 , n_1 , m_2 – эмпирические параметры учитывающие влияние скорости и степени деформации [7].

Изменение доли глобулярных зерен в структуре по переходам обработки металлов давлением (ОМД) представлено на рис. 7. Из рисунка видно, что после протяжки в плоских бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,326...0,728. При этом, из-за большой величины степени деформации сдвига и умеренной скорости деформации в центральных зонах заготовки почти полностью проходит глобуляризация. Однако, из-за возникновения трения и, вследствие этого, появление зон затрудненной деформации в поверхностных зонах заготовки не полностью проходит глобуляризация зерен. Кроме того, в зонах располагающийся между поверхностными и центральными зонами заготовки также не полностью проходит глобуляризуется.

После протяжки в комбинированных бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,846...0,961. Таким образом, из-за накопления степени деформации сдвига и умеренной скорости деформации по сечению заготовки почти полностью проходит глобуляризация зерен.

В процессе высадки и изотермической штамповки зоны затрудненной деформации получают достаточную деформацию для того, чтобы структура полностью превратилась из ламеллярной в глобулярную.

Таким образом, в процессе штамповки по предлагаемому технологическому процессу глобуляризуется проходит практически во всем объеме поковки, что повышает механические свойства. Кроме того, высокая степень деформации снижает анизотропию сплава ВТ6.

Изменение среднего размера глобулярного зерна по переходам представлено на рис. 8. Наиболее интенсивное уменьшение среднего размера глобулярного зерна происходит в процессековки в комбинированных бойках (до 1,219...1,317 мкм) и при высадки на гидравлическом прессе (до 0,763...0,823 мкм). После изотермической штамповки на кривошипном-горячештамповочном прессе образуется мелкозернистая однородная структура со средним размером глобулярного зерна 0,507...0,613 мкм.

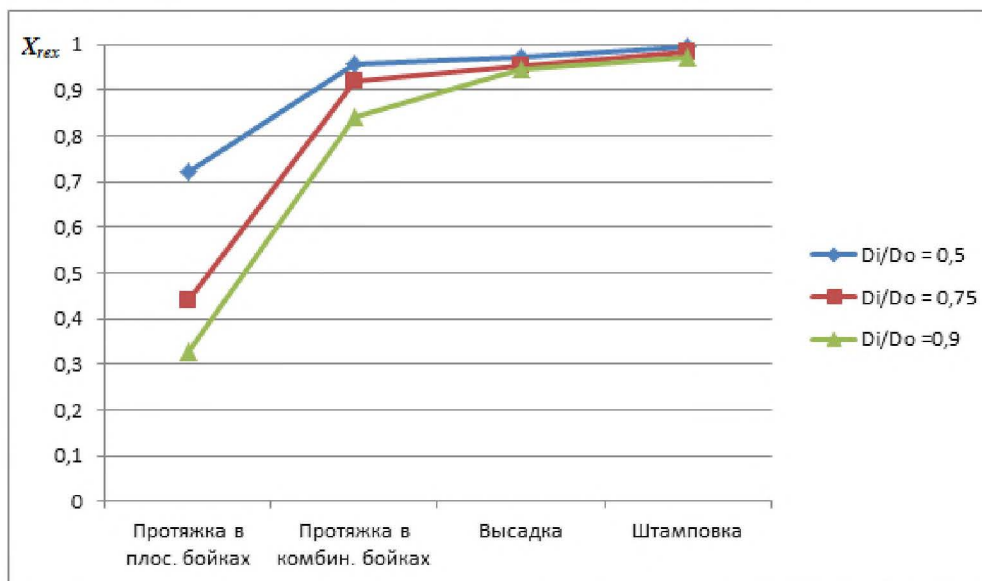


Рис. 7. График изменения объемной доли глобулярной структуры при изготовлении лопаток совмещенным процессом ОМД

Таким образом, из вышеприведенных данных видно, что после изотермической штамповки на КГШП получается мелкозернистая однородная микроструктура, которая способствует повышению пластичности, ударной вязкости, прочности.

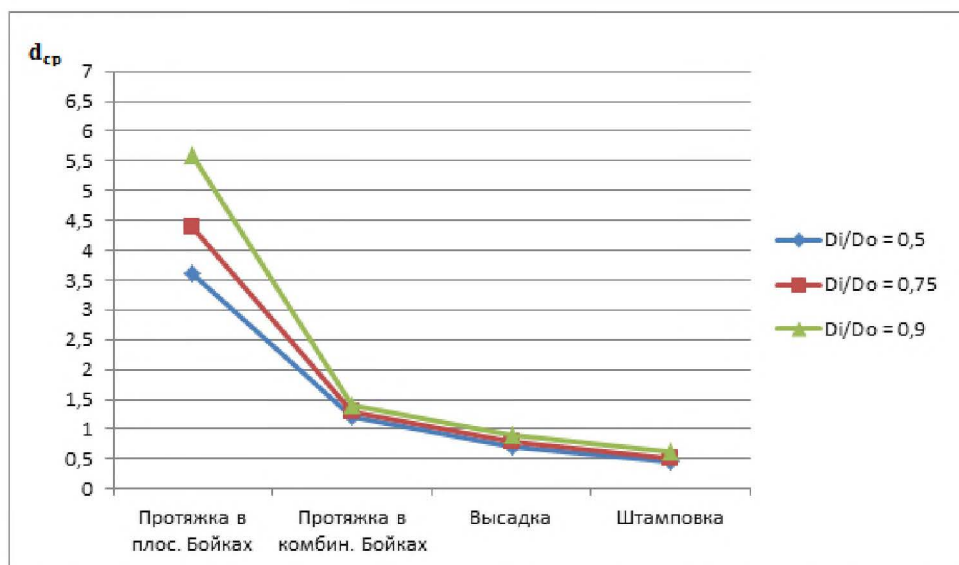


Рис. 8. График изменения среднего размера глобулярного зерна при изготовлении лопаток совмещенным процессом ОМД

Выводы

1. Установлено, что равномерное распределение Λ по сечению деформируемой заготовки можно достичь при протяжке с углом кантовки 30° , 60° , 90° , 120° , 150° и 180° и относительной подачей 1,0 в плоских бойках на первом этапе, с углом кантовки 30° , 60° , 90° , 120° и относительной подачей 0,6 в комбинированных бойках на втором этапе;
2. В процессе протяжки в плоских бойках не полностью проходит глобуляризация структуры;
3. Ковка в плоских и комбинированных бойках, высадка в инструменте с изменяющей формой и изотермическая штамповка на КГШП обеспечивает мелкозернистую однородную микроструктуру, с объемной долей глобулярной структуры равной 0,992, что обеспечивает высокие механические свойства.

Список литературы

1. Лозицкий Л.П. Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей. - М.: Воздушный транспорт, 1992.-535 с.
2. Влияние параметров горячего выдавливания заготовок рабочих лопаток компрессора на качество их изготовления /Ю.С. Кресанов, А.Я. Качан В.В. Чигиринский и др. – Вісник двигунобудування, Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2009, №2 –с.108115.
3. Князев, Я.О. Инновационная технология штамповки компрессорных лопаток небольшой длины / Осадчий В.Я., Лентяшин В.Б., Князев Я.О. // Заготовительное производство – 2013 – №3 с. 22-25.
4. Valiev R.Z., Alexsandrov I.V.. Nanostructurnie materiali, poluchennie intensivnoi plasticheskoi deformaziei. Logoz (2000) 271 p. (in Russian) [Р.З. Валиев, И.В. Александров Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.:Логос. 2000. 271 с.].
5. Машеков С.А., Биякаева Н.Т., Машекова А.С. Монография. Проблемы ковки титановых сплавов и их решения. Часть 1 и 2 Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 230 с. и 251 с.
6. Иванов К.М., Шевченко В.С., Юргенсон Э.Е. Метод конечных элементов в технологических задачах ОМД: Учебное пособие. С-Пб: Институт Машиностроения, 2000. 217 с.
7. Lopatin N. V., Maradudina O. N., and Dyakonov G. S. "Analysis of the Structure Formation and Properties of the VT6 Alloy during Upsetting of the Symmetrically Truncated Conical Billets", Russian Journal of Non Ferrous Metals, 2011, Vol. 52, No. 1, 33–38.