

УДК 621.73.042

Жбанков Я. Г., Швец А. А., Турчанин М. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОТЯЖКЕ С НЕОДНОРОДНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПОЛЕМ КОМБИНИРОВАННЫМИ БОЙКАМИ

Повышение качества продукции является актуальным для отечественного и зарубежного машиностроения. В современном тяжелом машиностроении широко используются крупногабаритные изделия высокого качества ответственного назначения, такие как валы, роторы. Основной операцией изготовления таких деталей является ковка крупных поковок, исходной заготовкой для которых является слиток [1]. Кузнечный слиток в результате кристаллизации имеет определенные недостатки, заключающиеся в химической, фазовой и структурной неоднородности, имеет пористую осевую часть [2]. Исправить данные недостатки возможно ковкой, по специальным режимам. Так, для устранения структурной неоднородности поковки, необходимо обеспечить однородное распределение деформаций по всему ее объему, а заковать осевые пустоты возможно, обеспечив высокие значения величины деформаций в центральной части поковки при обеспечении сжимающих напряжений [3, 4].

Целью данной работы является разработка режимов протяжки цилиндрической заготовки комбинированными бойками в условиях неоднородного температурного поля.

В данной работе был исследован процесс протяжки цилиндрической заготовки из стали 35 в однородном температурном поле (1 200°C) и с охлаждением во время ковки комбинированными бойками до температур поверхности 1 000°C, 900°C, 800°C с различной величиной обжатия ($\varepsilon_h = \Delta D/D_0$, ΔD – величина абсолютного обжатия) $\varepsilon_h = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3$ и различной относительной подачей ($\bar{f} = f/D_0$) $\bar{f} = 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1$. Проведено моделирование схем протяжки, в ходе которых обеспечивалось минимум 3 нажима бойком на заготовку для учета влияния ее жестких недеформированных концов на ее деформированное состояние. Моделирование процесса протяжки проводилось в программе, основанной на методе конечных элементов. В качестве заготовки был принят цилиндр диаметром 1 000 мм и длиной 3 000 мм из материала Сталь 35. Протяжка производилась при начальной температуре заготовки 1 200°C (однородное температурное поле), а также после ее охлаждения во время ковки до температур поверхности 1 000°C, 900°C и 800°C (неоднородное температурное поле) комбинированными бойками шириной $B = 1200$ мм и радиусом скругления кромки рабочей поверхности 100 мм. Заготовка разбивалась на 50 000 элементов, скорость деформирования 25 мм / с. При моделировании коэффициент пластического трения Зибеля принимался равным 0,35. В ходе моделирования исследовано влияние величины относительного обжатия, относительной подачи и температурного поля заготовки на распределение интенсивности логарифмических деформаций по ее объему.

Для оценки напряженного состояния заготовки была исследована зависимость величины компонент осевых напряжений для точек А и Б (рис. 1), находящихся на оси заготовки, от термомеханического режима протяжки. Построены графики зависимости компонент осевых напряжений от величины обжатия и относительной подачи при различном температурном поле заготовки (рис. 2). Во всех рассмотренных случаях осевая компонента напряжения σ_z отрицательна, а компоненты σ_x и σ_y принимают в некоторых случаях положительные значения.

При протяжке заготовки с однородным температурным полем комбинированными бойками с величиной обжатия $\varepsilon_h = 0,05-0,15$ и относительной подачей в диапазоне 0,3–1,1 осевая компонента напряжения σ_x принимает положительные значения до 6 Мпа (рис. 2, а). Это объясняется тем, что при больших подачах и малых обжатиях более интенсивное тече-

ние металла происходит в поперечном направлении. С увеличением величины обжатия до $\varepsilon_h = 0,3$ осевая компонента напряжения σ_x принимает отрицательные значения от -10 МПа при $\bar{f} = 0,3$ до -24 МПа при $\bar{f} = 1,1$.

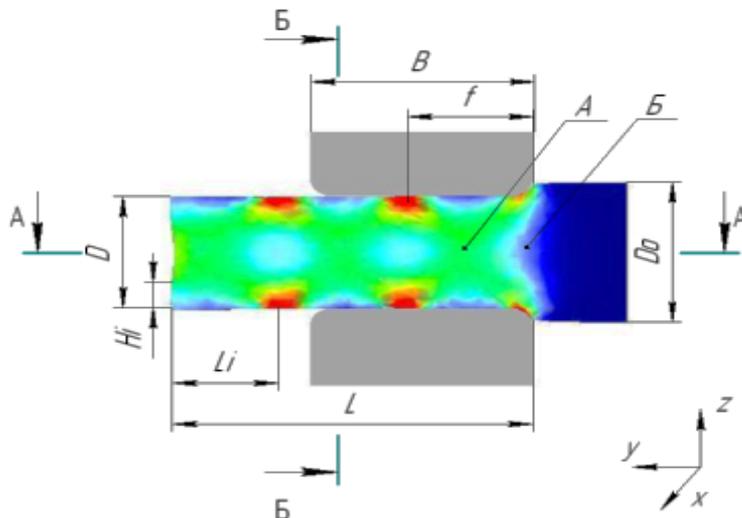


Рис. 1. Схема протяжки заготовки комбинированными бойками

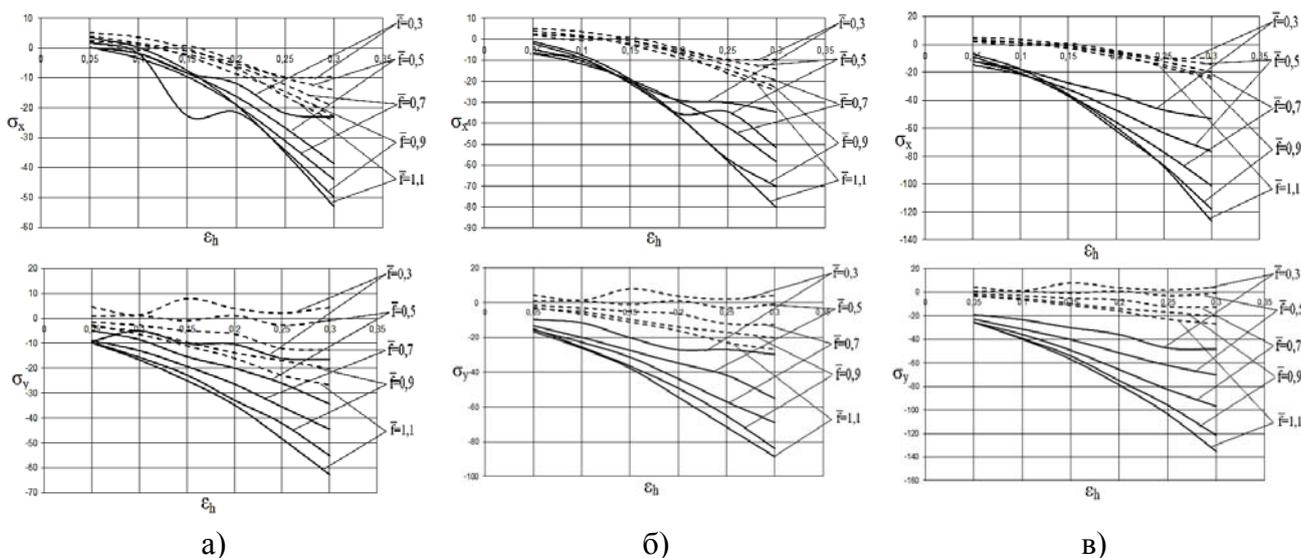


Рис. 2. График зависимости компонент осевых напряжений от величины обжатия и относительной подачи при протяжке комбинированными бойками с однородным температурным полем (пунктир) и с охлаждением в процессековки до 1 000 °С (а), 900° С (б) и 800 °С (в)

При протяжке заготовки комбинированными бойками с температурой ее поверхности 1 000°С положительные значения осевой компоненты напряжения σ_x наблюдаются при величине обжатия $\varepsilon_h = 0,05$ и относительной подаче $\bar{f} = 0,3-1,1$, которые равны 0,19–3,67 МПа соответственно, а при протяжке заготовки с $\varepsilon_h > 0,05$ осевая компонента напряжения σ_x принимает отрицательные значения. Так, при $\varepsilon_h = 0,1$ и $\bar{f} = 0,3$ ее значение равно -0,05 МПа, а при $\bar{f} = 1,1$...-3,6 МПа и при увеличении величины обжатия до 0,3 принимает значения от -23 МПа до -53 МПа соответственно.

При последующем охлаждении заготовки до 900 °С осевая компонента напряжения σ_x принимает отрицательные значения при всех значениях величины обжатия и относительных подач. При величине обжатия 0,05 и относительной подаче 0,3–1,1 осевая компонента σ_x принимает значения равные -1...-6,9 МПа, а с увеличением величины обжатия до $\varepsilon_h=0,3$ при относительной подаче $\bar{f}=0,3...1,1$ – -34,6...-80,2 МПа.

С уменьшением температуры поверхности заготовки до 800 °С осевая компонента напряжения σ_x также принимает отрицательные значения при всех значениях величины обжатия и относительных подач. При протяжке заготовки с величиной обжатия $\varepsilon_h=0,05$ и $\bar{f}=0,3-1,1$ компонента σ_x принимает отрицательные значения в диапазоне -6,8...-11,8 МПа, а с увеличением величины обжатия до $\varepsilon_h=0,3$ – до -53...-126,6 МПа.

Что касается напряжения σ_y , то оно принимает положительные значения (1,5–8 МПа) при всех значениях обжатия и величин относительной подачи, что в совокупности с положительными значениями компоненты σ_x может привести к образованию внутренних разрывов (рис. 2, строка 2, пунктир). При относительной подаче $\bar{f}=0,5$ напряжение σ_y принимает как положительные так и отрицательные значения и колеблется в диапазоне -2,8...1,1 МПа. С увеличением относительной подачи от 0,7 до 1,1 и величиной обжатия от 0,05 осевая компонента напряжений σ_y принимает отрицательные значения равные -1,5...-3,1, а при $\varepsilon_h=0,3$ – -12,5...-26,7 МПа.

После охлаждения заготовки до температуры поверхности 1000°С при протяжке осевая компонента напряжения σ_y принимает отрицательные значения для всех исследуемых режимов протяжки. Так, при $\varepsilon_h=0,05$ и $\bar{f}=0,3-1,1$ она принимает значения от -5 до -9,8 МПа, а при увеличении величины обжатия до $\varepsilon_h=0,3$ – от -16,5 до -62,7 МПа.

При достижении температуры поверхности заготовки 900°С при протяжке осевая компонента напряжения σ_y принимает отрицательные значения, которые достигают -9,5...-16,5 МПа при $\varepsilon_h=0,05$ и $\bar{f}=0,3-1,1$ и уменьшается с увеличением величины обжатия. Так, при $\varepsilon_h=0,3$ значения компоненты находятся в интервале от -29,6 до -88,5 МПа.

При последующем охлаждении заготовки еще на 100 °С эти значения уменьшаются до -18,9...-25,5 МПа при $\varepsilon_h=0,05$ и $\bar{f}=0,3...1,1$ и -48,1...-135,2 МПа при увеличении величины обжатия до $\varepsilon_h=0,3$.

На основе полученных данных был рассчитан показатель жесткости схемы напряженного состояния η для точек А и Б (рис. 1) по следующей формуле:

$$\eta = \frac{3 \cdot \sigma_{cp}}{\sigma_i}, \quad (1)$$

где σ_{cp} — среднее напряжение, МПа;

σ_i — интенсивность напряжений, МПа.

Построены зависимости показателя жесткости схемы напряженного состояния от различных условий протяжки (рис. 3).

Анализ кривых на рис. 3 позволил установить, что в точке А показатель жесткости схемы напряженного состояния принимает отрицательные значения при любых условиях подачи и обжатий, а также любом температурном поле сечения заготовки, что говорит о наличии благоприятного напряженного состояния сжатия (рис. 3, строка 1). Так, при относительной

подаче $\bar{f}=0,3-1,1$ и величине обжатия $\varepsilon_h=0,05$ показатель η принимает значения равные $-0,5 \dots -0,8$, а при увеличении величины обжатия до $0,3$ — от $-1,1$ до $-2,8$ при протяжке с однородным температурным полем (рис. 3, строка 1).

В точке Б при протяжке заготовки показатель жесткости схемы напряженного состояния η также принимает отрицательные значения при любых условиях подачи и обжатий, а также любом температурном поле сечения заготовки (рис. 3, строка 2).

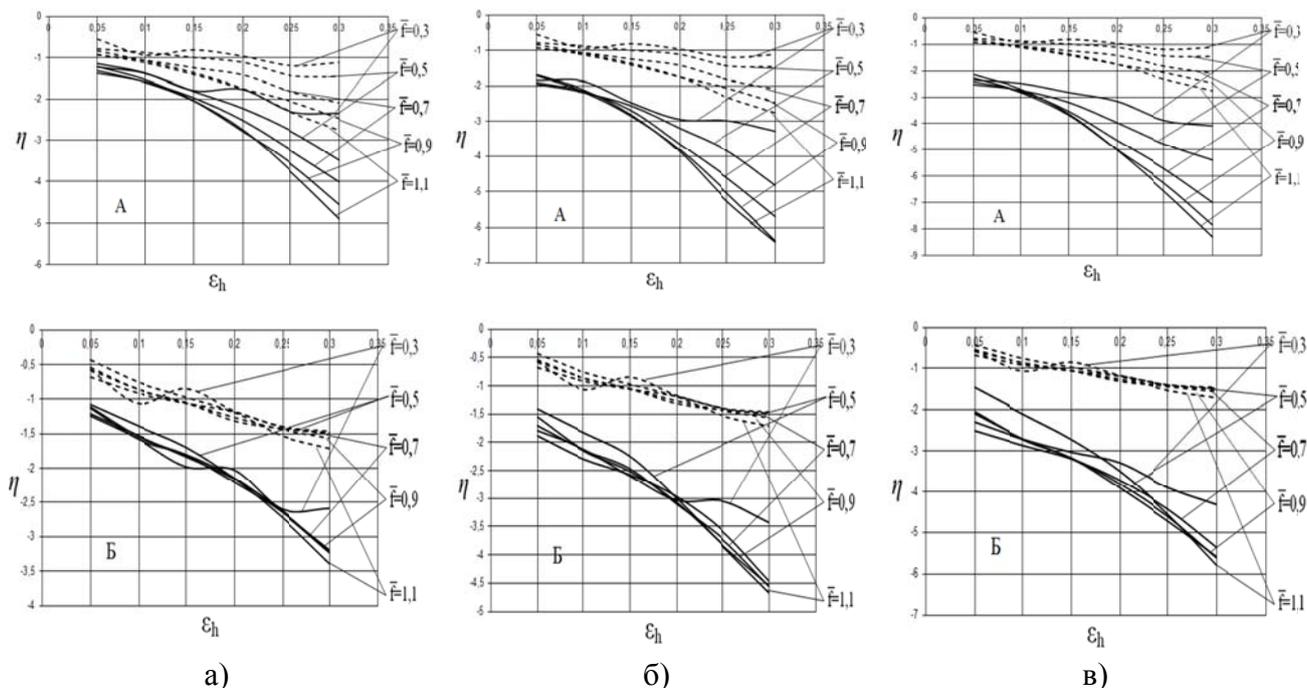


Рис. 3. Графики зависимости показателя жесткости схемы напряженного состояния в осевой зоне слитка от величины обжатия и относительной подачи при протяжке заготовки комбинированными бойками с однородным температурным полем (пунктир) и с охлаждением в процессе ковки до $1\ 000^\circ\text{C}$ (а), 900°C (б) и 800°C (в)

Так при относительной подаче $\bar{f}=0,3 \dots 1,1$ и величине обжатия $\varepsilon_h=0,05$ показатель η принимает значения равные $-0,43 \dots -0,67$, а при увеличении величины обжатия до $0,3$ — от $-1,46$ до $-1,7$ при протяжке с однородным температурным полем (рис. 3, строка 2, пунктир).

При охлаждении поверхности заготовки в процессе ковки до температуры $1\ 000^\circ\text{C}$ показатель жесткости схемы напряженного состояния в точке А принимает значения равные $-1,1 \dots -1,6$, при протяжке заготовки с величиной обжатия $\varepsilon_h=0,05$ и относительной подачей $\bar{f}=0,3-1,1$, а с увеличением величины обжатия до $\varepsilon_h=0,3$ — $-2,3 \dots -4,9$, а в точке Б — до $-1 \dots -1,2$ и $-2,6 \dots -3,4$ соответственно.

После падения температуры поверхности заготовки на 100°C при протяжке с величиной обжатия $\varepsilon_h=0,05$ и относительной подачей $\bar{f}=0,3 \dots 1,1$ показатель жесткости схемы напряженного состояния возрастает в точке А до $-1,7 \dots -1,95$, а с увеличением величины обжатия до $\varepsilon_h=0,3$ — $-3,3 \dots -6,4$, а в точке Б — до $-1,4 \dots -1,9$ и $-3,4 \dots -4,7$ соответственно.

При достижении во время протяжки температуры поверхности заготовки 800°C показатель жесткости схемы напряженного состояния в точке А достигает значений $-2,1 \dots -2,5$ МПа при протяжке с величиной обжатия $\varepsilon_h=0,05$ и относительной подачей $\bar{f}=0,3 \dots 1,1$, после увеличения величины обжатия до $\varepsilon_h=0,3$ — $-4,1 \dots -8,3$ МПа. В точке Б этот показатель дости-

гает значений, равных $-1,5 \dots -2,5$ и $-4,3 \dots -5,8$ соответственно.

Таким образом, показатель η в 4 раза больше при протяжке с неоднородным температурным полем, что объясняется наличием более жестких периферийных слоев заготовки, которые непосредственно деформируют центральную часть.

ВЫВОДЫ

Проведено исследование напряженного состояния заготовки в процессе протяжки комбинированными бойками с неоднородным температурным полем. Установлены закономерности распределения показателя жесткости схемы напряженного состояния по объему заготовки при различных термомеханических режимах ковки.

Даны рекомендации по термомеханическому режиму протяжки заготовки, которые обеспечивают наименьшее значение показателя жесткости схемы напряженного состояния.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жбанков Я. Г. Дифференцированная ковка протяжкой плоскими бойками / Я. Г. Жбанков, А. А. Швець, М. И. Гунько // *Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 2 (35). – С. 60-65. - ISSN 2076-2151.
2. Марков О. Е. Эффективная схема ковки крупных слитков с использованием кузнечной протяжки / О. Е. Марков // *КШП.ОМД.* – Москва, 2012. - № 8. – С.33 – 36.
3. Марков О. Є. Дослідження процесів кування валів клиновими бойками / О. Є. Марков, О. А. Швець, Р. В. Зінченко / *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. праць.* –Краматорськ :ДДМА, 2012. – № 2 (27).
4. Каргин С. Б. Теоретический анализ напряженно-деформированного состояния слитка при ковке на трехлепестковую заготовку / С. Б. Каргин, О. Е. Марков, В. В. Кухарь // *Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 1 (26). – С. 17-21. - ISSN 2076-2151.
5. Распределение температуры по сечению слитка в процессе охлаждения в изложнице и в вагонетермосе / В. И. Залесский, Д. М. Корнеев, Г. А. Лименов, В. А. Цурков // *Кузнечно-штамповочное производство.* – 1966. – № 8. – С. 9 – 11.
6. Гордеев А. Е. Исследование распределения температурных полей в укороченных бесприбыльных слитках перед ковкой / А. Е. Гордеев, Я. Ю. Ткаченко, А. Н. Чаплынских // *Студенческий вестник ДГМА.* – 2008. – С. 95 – 99.
7. Головина З. Н. Исследование процессов нагрева и охлаждения стальных массивных слитков / З. Н. Головина, О. С. Ересковский, Г. Г. Немзер // *Кузнечно-штамповочное производство.* – 1968. – №1. – С. 35– 40.