

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ПРИ РАСКАТКЕ КОЛЕЦ ГТД

Одной из самых актуальных проблем современного машиностроения, в частности двигателестроения, является получение высокоэкономичных бесшовных кольцевых профилей с заданными структурой и высоким уровнем механических свойств.

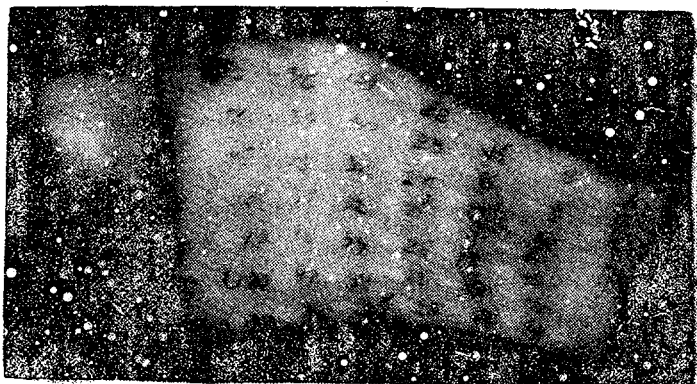
При изыскании оптимальных способов раскатки колец газотурбинных двигателей (ГТД), необходимо исследовать напряженное состояние и формирование структуры.

С целью изучения явлений неравномерной деформации при раскатке колец были проведены следующие исследования.

Кольцевые заготовки из алюминиевого сплава АМг6 размерами $\varnothing 300 \times \varnothing 180 \times 50$ со сквозными отверстиями, заполненными стержнями из того же материала (рис. 1) осаживались при температуре 450°C между валками (диаметр верхнего валка - 550 мм, нижнего - 200 мм) на величину 37,5%. По изменению геометрических параметров стержней определялись неравномерность деформации и удельные давления.

По такой же методике определялись неравномерность деформации и удельные давления как при прокатке, так и при совмещенном процессе деформации. Кроме того, с целью получения адекватных результатов - [1] - [5] кинематика течения металла в очаге изучалась по изменению зеренной структуры.

Для определения давлений при раскатке сделано допущение, что в точках входа и выхода металла из валков удельное давление $P_{\text{вх}}$ и $P_{\text{вых}}$ равно K . Зная в каждом случае для любого материала



Р и с. I. Макроструктура очага деформации при раскатке (сплав АМГ6)

среднее удельное давление, всегда можно рассчитать максимальное истинное давление P_{\max} в месте контакта металла с валком по формуле

$$P_{\max} = 3P_{\text{ср}} - 2K. \quad (1)$$

Но эта зависимость справедлива только для контактной поверхности.

Локальные давления в очаге деформации можно подсчитать, используя следующую зависимость:

$$P_i = \frac{P_{\max} \varepsilon_i}{\varepsilon_{\max}}, \quad (2)$$

где P_i - давление в i -той точке очага; ε_i - деформация элемента в i -той точке очага; ε_{\max} - максимальная деформация на контактной поверхности, соответствующая давлению P .

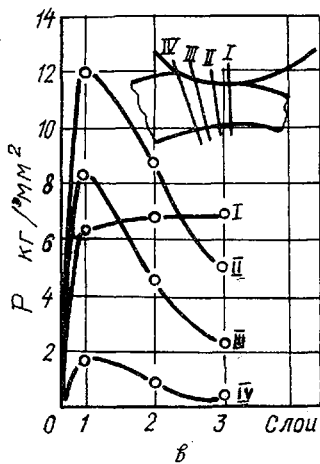
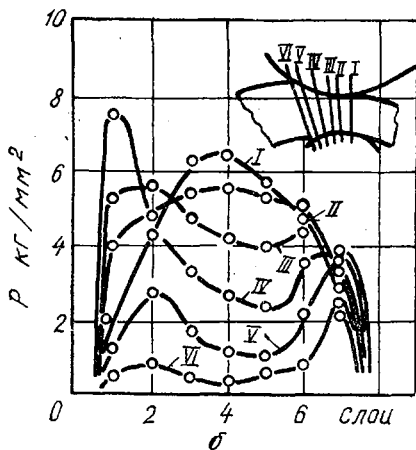
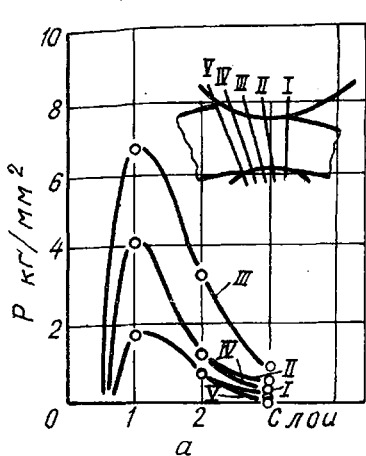
Для установившегося процесса раскатки, используя условие равенства давлений на верхний и нижний валок, запишем:

$$P_B b_B l_B = P_H b_H l_H,$$

где $P_B, P_H, b_B, b_H, l_B, l_H$ - соответственно давление на контактной поверхности, ширина профиля, длина дуги захвата верхнего и нижнего валков.

Используя диаграммы распределения удельных давлений по длине дуги захвата, приведенные Полухиним П.И., Тетериним П.К. и др.

[1] - [3] для установившегося процесса раскатки при $d_H \geq 2d_K - l_B$ установлено, что $P_B = P_H$ (d_K - внутренний диаметр кольца; d_H - диаметр нижнего валка).



Р и с. 2. Диаграммы распределения удельных давлений в очаге деформаций в зависимости от степени деформации: а - схема прокатки; б - осадка; в - совмещенная схема осадка + прокатка

Отсюда абсолютная деформация со стороны нижнего вала $\Delta h = \alpha \Delta h_g$, где $Q = \frac{R_B}{R_H}$ - коэффициент валков; R_B, R_H - радиусы верхнего и нижнего валков.

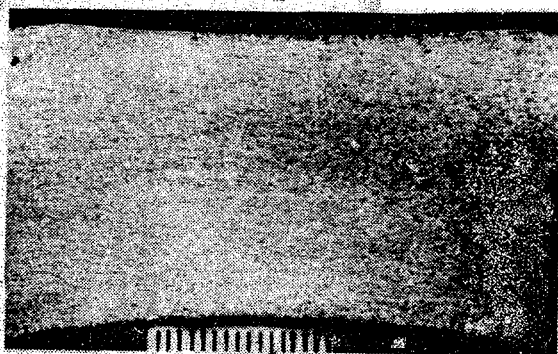
Тогда, с учетом влияния разницы диаметров валков, зависимость (2) можно записать в виде

$$P_i = \frac{P_{\max} \varepsilon_i}{\varepsilon_{\max} \alpha} \quad (3)$$

На основе экспериментальных данных, используя зависимость (3), построены кривые распределения удельных давлений по толщине профиля кольца в зависимости от степеней деформации по слоям (рис. 2, а, б, в).



а



б



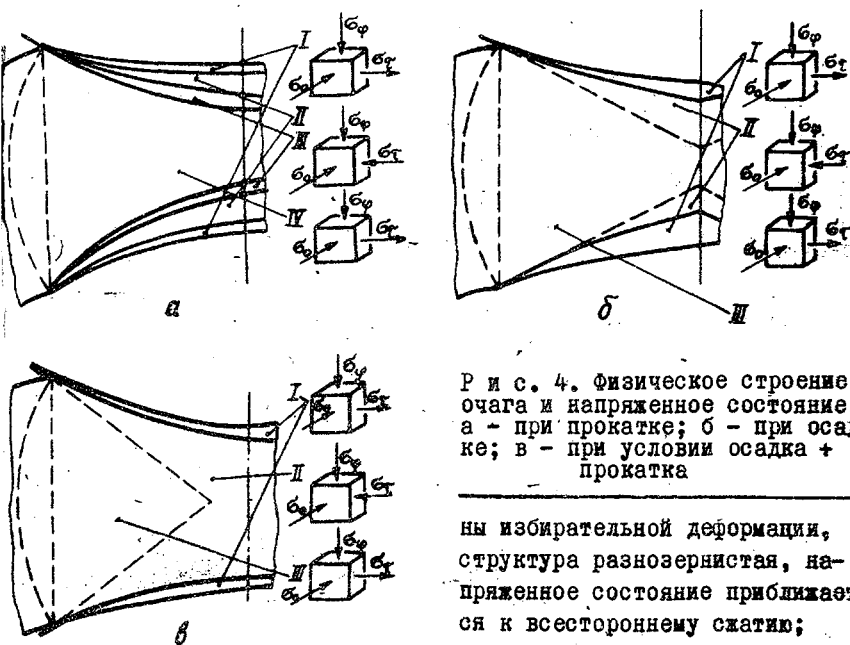
8,5% 14,1% 21,3% 24,1% 28,5%

Р и с. 3. Изменение структуры в очаге деформации: а - при прокатке; б - при осадке; в - при условии осадка + прокатка

На рис. 3 приведена макроструктура прокатанного (а), осажженного (б) и деформированного совмещенным методом (в) колец. Характер изменения макроструктуры отражает истинную картину течения металла в очаге деформации.

Анализ характера распределения давлений, а также изменения структуры в высоком очаге деформации при прокатке, осадке и совмещенном процессе свидетельствует о том, что пластическая деформация происходит неравномерно, причем для совмещенного процесса удельные давления по толщине профиля при $\epsilon = 37\%$ (исключая поверхностные слои) практически выравниваются, тем самым обеспечивается однородная деформация, что является необходимым условием получения однородной структуры.

На рис. 4, а показана схема физического строения высокого очага деформации при прокатке: I-е зоны - это зоны холодной деформации, имеющие мелкое наклепанное зерно, напряженное состояние - двустороннее сжатие с тангенциальной составляющей растяжения; II-е зоны - зоны активной деформации с интенсивной фрагментацией зерна, напряженное состояние - всестороннее сжатие; III-и зоны - зо-



Р и с. 4. Физическое строение очага и напряженное состояние: а - при прокатке; б - при осадке; в - при условии осадка + прокатка

ны избирательной деформации, структура разнoзернистая, напряженное состояние приближается к всестороннему сжатию;

IУ-я зона - зона упругой и малопластической деформации без изменения формы зерна, напряженное состояние, как в I-х зонах.

На рис. 4,б дана схема очага деформации при осадке. По характеру напряженного состояния и деформации I-е и II-е зоны идентичны зонам процесса прокатки, III-я зона соответствует IУ-й зоне.

На рис. 4,в приведена схема физического строения очага деформации при раскатке колец (совмещенный процесс). С учетом наложения схемы, приведенной на рис. 4,а, на другую схему (рис.4,б) имеем: I-я зона - зона холодной деформации, схема прокатки аналогичная; II-е зоны - зоны активной деформации с интенсивной фрагментацией зерна; III-я зона - зона упругой и малопластической деформации, т.е. при совмещенном процессе деформации неоднородность высокого очага значительно уменьшается за счет наложения зон активной и затрудненной деформаций.

При схеме наложения процесса осадки на прокатку наблюдается снижение удельного и полного давления раскатки. Начиная с определенной величины деформации, давление уменьшается до 20% (2). Объясняется это тем, что при такой схеме металл при осадке в III-й зоне подвержен растягивающим напряжениям, что облегчает прокатку, а также обеспечивает возможность увеличения степени деформации. Данный способ прокатки со сверхобжатиями положен в основу метода разработки калибровок кольцевых профилей по методу балки, тавра, совместной прокатки со сверткой и др. При выборе оптимальных температурно-деформационных и силовых условий прокатки пластическая деформация протекает во всем очаге достаточно равномерно, результатом чего является получение однородной структуры и высоких механических свойств.

Следует отметить, что при использовании калибровки метод совместной прокатки со сверткой позволяет получить более плотную дислокационную структуру - $10^{11} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$ (при выдавливании эта величина равна $10^8 - 10^9 \text{ см}^{-2}$), что объясняется слиянием зон интенсивной деформации в результате которого получают более плотный металл, что и приводит к повышению прочности, пластичности и усталостных характеристик кольцевых профилей.

Л и т е р а т у р а

Г. Т а р н о в с к и й И.Я., П о з д е е в А.А., Л о ш -
к о в В.Б. Деформация металла при прокатке. М., Metallurgizdat,
1956.

2. Мурзов А.И. Прокатка заготовок с повышенными об-
ратностями. Производство полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Фи-
лиал ВИАМ, 1963.

3. Полухин П.И., Тетерин П.К., Шамя-
син М.Н., Воронцов В.К. Распределение удельного дав-
ления по длине очага деформации при прокатке колец. Известие выс-
ших учебных заведений. "Черная металлургия", 1970.

4. Мурзов А.И., Архипова Н.А., Конд-
ратьева Е.И. Исследование влияние неравномерного истече-
ния в очаге деформации на образование расслоений в листах. Алю-
миниевые и специальные сплавы, вып. 4. Филиал ВИАМ, 1968.

5. Мурзов А.И., Сергеев И.А. О распределении
рабочих напряжений в очаге деформации при прокатке. "Алюминиевые
и специальные сплавы", вып. 9. Филиал ВИАМ, 1975.

УДК 669. 018 = 28

Р.Заббаров, В.С.Уварова,
П.С.Ланцман, Н.Е.Дудов,
Р.Г.Ибатулина

О ВТОРИЧНОМ ТВЕРДЕНИИ СТАЛИ 45ХНМФЛ

Известно, что некоторые легирующие элементы затрудняют рас-
пад мартенсита и коагуляцию карбидов и таким образом смещают
температурную границу разупрочнения при отпуске от 200 до 600°C.
В сталях, легированных такими элементами, как *V*, *Mo*, *Ti*, *W*
с увеличением температуры отпуска после обычного разупрочнения,
вызванного распадом мартенсита и коагуляцией цементита, наблюда-
ется повышение твердости. Это явление, обнаруженное в интервале
температур 500-600°C, принято называть вторичным твердением.

При разработке новой литейной штамповой стали для горячего
деформирования нами изучались ее физико-механические и эксплуата-
ционные характеристики. Для этой группы сталей важной характерис-
тикой является теплостойкость, характеризующая природу упрочнения,
вызываемую термической обработкой и определяющей условия эксплуа-
тации инструмента.

Поэтому исследовалось влияние температуры отпуска на твер-
дость стали. Испытанию подвергались образцы литой стали марки