

Л и т е р а т у р а

1. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. - М.: Машиз, 1976, 278 с.
2. Силин С.С., Безъязычный В.Ф., Шарова Т.В. Аналитический метод определения температурных остаточных напряжений в поверхностном слое деталей при точении. Сборник научных трудов № 4. Ярославский политехнический институт, Рыбинский авиационный технологический институт, -Ярославль, 1976, с. 120-141.
3. Силин С.С. Применение метода подобия для определения обрабатываемости резанием современных материалов. Сб. научных трудов № 3. Ярославский политехнический институт (головной), Рыбинский авиационный технологический институт, -Ярославль, 1975, с. 5-33.
4. Силин С.С. Расчет оптимальных режимов резания на основе изучения процессов резания методами теории подобия. Сб. трудов № I Рыбинского авиационного технологического института, -Рыбинск. 1966, с. 55-86.

УДК 621.91.01

В.М.Зайцев

ВЛИЯНИЕ СМАЗКИ-ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ЖАРОПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Обработка металлов резанием всегда сопровождается возникновением в приповерхностном слое детали остаточных напряжений, оказывающих существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей: усталостную прочность, износостойкость и др.

При обработке резанием крупногабаритных маложестких деталей остаточные напряжения являются одной из главных причин коробления, выпучивания и других отклонений формы, значительно превосходящих допустимые. Остаточные напряжения являются причиной образования надрывов, микро- и макротрещин при обработке жестких деталей.

Установлено, что на величину, знак и характер распределения остаточных напряжений по глубине материала большее влияние оказы-

вайт температура, силы резания и износ инструмента [1], [2]. Смазывающе-охлаждающие жидкости (СОЖ) оказывают заметное влияние на все эти факторы. Однако прямых исследований о влиянии СОЖ на остаточные напряжения, особенно при обработке жаропрочных и титановых сплавов лезвийным инструментом, в частности при точении, выполнено очень мало. Между тем с появлением новых синтетических сверхтвердых инструментальных материалов удельный вес лезвийного инструмента при окончательной обработке значительно возрос. С другой стороны, установлено, что в формировании остаточных напряжений известную роль играют условия выполнения предварительной обработки. Поэтому необходимо дальнейшее накопление сведений о влиянии СОЖ на остаточные напряжения при различных стадиях обработки металлов резанием, особенно лезвийным инструментом. Ниже приведены результаты исследований влияния СОЖ на остаточные напряжения при наружном точении сверхпрочных применяющихся в авиационном жаропрочного сплава ЭИ698ВД и титанового сплава ВТ9 твердосплавными резами ВК8.

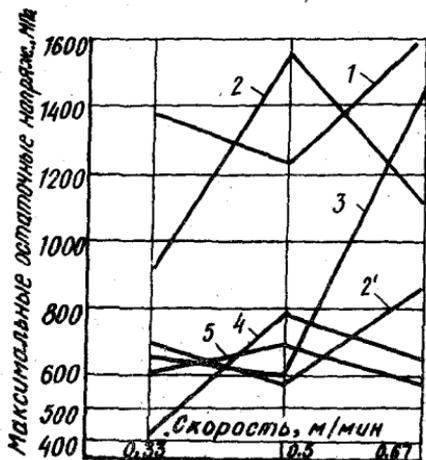
В качестве СОЖ применялись эмульсии и растворы 5-10% концентрации из эмульсолов и концентратов: ЭТ-2, применяющегося в условиях производства, и некоторых других, проходящих промышленные испытания (РЗСОЖ, Уркинол-1, Аквол-10, ИХП-459), а также масляной СОЖ МР-4. СОЖ подавали в зону резания обычным поливом и в виде тонкой струи с помощью сопла (при давлении в системе 0,5-0,6 МПа). Геометрия заточки резцов и режимы резания были приняты согласно ранее проведенным исследованиям по установленным оптимальным условиям полукругового точения указанных материалов. При обработке обоих материалов применялись проходные резцы ВК8 со следующей геометрией заточки $\gamma = \alpha = 10^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $z = 1$ мм.

Исследования проводились острозаточенными резами ($h_3 = 0,1$ мм) и притупленными ($h_3 = 0,5 - 0,6$ мм). Режимы резания изменялись в следующих пределах: при обработке сплава ЭИ698ВД - $t = 1,5$ мм;

$s = 0,1 - 0,2$ мм/об; $v = 0,33 \dots 0,67$ м/с; при обработке сплава ВТ9 - $t = 2$ мм; $s = 0,1 - 0,7$ мм/об; $v = 0,33 \dots 0,83$ м/с.

Остаточные напряжения определялись по методике Н.Н. Давиденкова на установке, описанной неоднократно ранее, например, в работе [1].

В качестве сравниваемых параметров были приняты величина σ_{max} , глубина залегания максимальных тангенциальных $\Delta \sigma_{\text{max}}$ остаточных напряжений и глубина залегания нулевых значений этих напряжений ($\Delta \sigma_{\text{с}0}$).



Р и с. 1. Влияние СОЖ и режимов резания на максимальные остаточные тангенциальные напряжения при точении сплава ЭИ698ВД: $n_s = 0,5$ мм; $t = 1,5$ мм; 1-всухую; 2-ЭТ-2 (полив); 2' - ЭТ-2 (п.д.), ($s = 0,2$ мм/об); 3 - Укринол-1; 4 - МР-4; 5 - Аквол-10 ($s = 0,1$ мм/об)

СОЖ не одинаков. При применении эмульсий ЭТ-2, Аквол-10 и масляной СОЖ МР-4 обычным поливом при указанной скорости, как и при резании всухую, имеют место минимальные значения максимальных тангенциальных остаточных напряжений. При применении Укринол-1 обычным поливом и ЭТ-2 под давлением наблюдаются максимальные значения этого параметра. Зависимости глубины залегания максимальных напряжений

Δ_{глуб} от скорости резания, как правило, имеют противоположный характер. Приведенные результаты имеют принципиальное значение, так как имеется мнение, что при точении материалов, подобных ЭИ698ВД, без СОЖ при оптимальной скорости резания всегда имеет место максимальные значения экстремальной величины максимальных остаточных напряжений [2]. При резании с применением СОЖ подобных зависимостей не имеется.

Из приведенных данных также следует, что применение всех СОЖ в исследованном диапазоне скорости способствует снижению уровня максимальных тангенциальных напряжений по сравнению с резанием всухую, исключение составляет только эмульсия ЭТ-2, при применении

Результаты исследований, проведенных при точении жаропрочного сплава ЭИ698ВД, приведены на рис. 1 и в табл. 1.

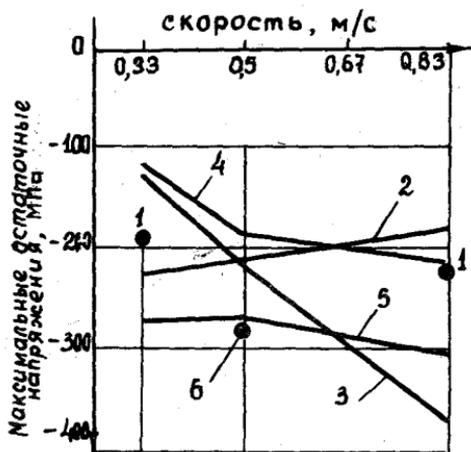
Данные, приведенные на рис. 1 и в табл. 1, показывают, что зависимости величины и глубины залегания максимальных тангенциальных напряжений, а также глубины залегания нулевых значений этих напряжений при точении сплава ЭИ698ВД имеют явно выраженный экстремальный характер. Экстремальные значения указанных параметров во всех случаях имеют место приблизительно при одной и той же скорости резания: 0,5 м/с, которая при резании всухую является оптимальной. Однако характер этих зависимостей при применении разных

Т а б л и ц а I

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И СОД НА ГЛУБИНУ ЗАЛЕГАНИЯ
ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ТОЧЕНИИ СПЛАВА
ЭИ698ВД РЕЗЦАМИ ВК8 ($t = 1,5$ мм; $h_3 = 0,5$ мм)

Виды СОД	Параметры	Глубина залегания Δ мм			Подача, мм/об
		при скорости резания, м/с			
		0,33	0,5	0,67	
Всухую	$\sigma_{\tau \max}$	8,5	8	7	0,2
	$\sigma_{\tau=0}$	57	40	42	
ЭТ-2 (полив)	$\sigma_{\tau \max}$	13	7	22	
	$\sigma_{\tau=0}$	71	51	109	
ЭТ-2 (п.д.)	$\sigma_{\tau \max}$	13	20	11	
	$\sigma_{\tau=0}$	89	100	54	
Укринож-1	$\sigma_{\tau \max}$	9	15	4,5	0,1
	$\sigma_{\tau=0}$	44	69	27	
МР-4	$\sigma_{\tau \max}$	14	15,5	10	
	$\sigma_{\tau=0}$	76,5	43	50	
Аквож-10	$\sigma_{\tau \max}$	7,5	10	14,5	
	$\sigma_{\tau=0}$	55,5	60	56	

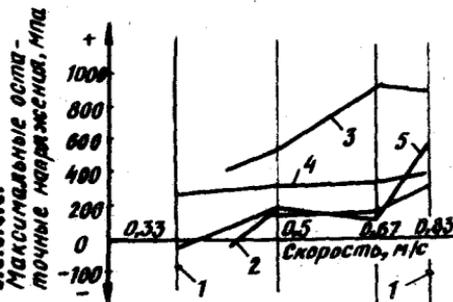
которой обычным поливом наблюдается увеличение этого параметра при $v = 0,5$ м/с. При применении СОД увеличивается глубина залегания остаточных напряжений по сравнению с резанием всухую. Исключение составляет, опыт-таки, эмульсия ЭТ-2, способствующая некоторому уменьшению этого параметра при указанной скорости.



Р и с. 2. Влияние СОЖ и скорости резания на максимальные остаточные тангенциальные напряжения при точении сплава ВТ9; $h_3 \leq 0,1$ мм, $t = 2$ мм, $s = 0,206$ мм/об; 1-всуху; 2-BT-2; 3-Уринол-1; 4-МР-4; 5-Аквол-10; 6-ИХ-459

При точении острыми резцами ($h_3 \leq 0,1$) в исследованном диапазоне скоростей применения СОЖ способствует как увеличению, так и уменьшению сжимающих остаточных напряжений по сравнению с резанием всуху. Графические зависимости указанных напряжений от скорости резания, приведенные на рис. 2, имеют монотонный характер с тенденцией увеличения этого параметра с ростом скорости резания. Исключение составляет точение с применением СОЖ-BT2.

Р и с. 3. Влияние скорости резания, подачи, износа и СОЖ на максимальные остаточные напряжения при точении сплава ВТ9: $t = 2$ мм; 1-всуху $s = 0,2$ мм/об, $h_3 = 0,1$ мм; 2-всуху $s = 0,2$ мм/об, $h_3 = 0,6$ мм; 3-всуху $s = 0,1$ мм/об, $h_3 = 0,6$ мм; 4-ИХ-459 $s = 0,1$ мм/об, $h_3 = 0,6$ мм; 5-ИХ-459 $s = 0,2$ мм/об, $h_3 = 0,6$ мм;



Результаты исследований, выполненных при точении сплава ВТ9, приведены на рис. 2,3 и в табл.2-4.

Приведенные на рисунках и в таблицах данные показывают, что влияние СОЖ на остаточные напряжения при точении титанового сплава ВТ9 имеет более сложный характер, чем при точении жаропрочного сплава на никелевой основе ЭИ698ВД. В исследованиях установлено значительное влияние на величину и знак максимальных остаточных напряжений износа по задней поверхности инструмента.

Т а б л и ц а 2

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ, ИЗНОСА И СОМ НА ВЕЛИЧИНУ И ГЛУБИНУ ЗАЛЕГАНИЯ
 МАКСИМАЛЬНЫХ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ТОЧЕНИИ СИЛАЗА ВТУ
 РЕЗЬЯМИ ВК8 $t \times S = 2 \times 0,2 \text{ мм}^2$

Параметры	Δ, мм			σ _{топк} , МПа				Δ, мм		
	0,33	0,5	0,83	0,41	0,5	0,83	0,41	0,5	0,83	
Скорость, м/с	7,5	-	17	-6	16	32	2	2	6,5	
Воздух	16	15	12,5	-	17,5	-	-	5	-	
ЭЛ-2	41,5	3,5	3	-	47,5	-	-	7	-	
Угрюнок-1	18,5	3	7	-	-	-	-	-	-	
МР-4	9,5	13	5	-	22,5	-	-	16	-	
Аквол-10	-	4,5	-	-5	17,5	62	15	14	9	
ИДЛ-459	-	-	-	-	33	-	-	8	-	
РЭСОМ8										
Износ, мм	0,1			0,6						

Т а б л и ц а 3

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ, ИЗНОСА И СОЖ НА ГЛУБИНУ ЗАЛЕГАНИЯ
 НУЛЕВЫХ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ТОЧЕНИИ
 СПЛАВА ВТ9 РЕЗЦАМИ ВК8 $t \times s = 2 \times 0,2 \text{ мм}^2$

Виды СОЖ	Глубина залегания в мкм при скорости резания, м/с					
	0,33	0,5	0,83	0,41	0,5	0,83
Всухую	200	-	52,5	21	32	55
ЭТ-2	29	50	72	-	46,5	-
Укринол-1	86	88	66,5	-	35,5	-
МР-4	59,6	81	99	-	-	-
Аквол-10	43	74	51	-	56	-
ИХП-459	-	172	-	-	27	64
РЗСОЖ8	-	-	-	-	26	-
Износ, мм	0,1			0,6		

При точении резцами, имеющими износ по задней поверхности $h_3 = 0,5 - 0,6 \text{ мм}$, со скоростью резания $v \leq 0,33 \text{ м/с}$ имеет место сжимающие напряжения, которые при $v > 0,33 \text{ м/с}$ постепенно переходят в напряжения растяжения. Применение всех СОЖ способствует увеличению напряжений (см. табл. 2).

Влияние подачи на остаточные напряжения имеет сложный характер. Увеличение подачи с 0,1 до 0,2 при резании всухую способствует значительному уменьшению растягивающих максимальных остаточных напряжений (примерно в 6 раз); при дальнейшем увеличении подачи напряжения даже переходят в сжимающие. Однако при подаче 0,4 мм/об они опять становятся растягивающими (см. табл. 4). Применение СОЖ ИХП-459 способствует возникновению остаточных напряжений растяжения во всем диапазоне подач (при скорости резания 0,5 м/с). С увеличением износа h_3 от 0,1 до 0,6 мм остаточные напряжения при резании всухую со скоростью 0,83 м/с уменьшаются от -225 МПа

ВЛИЕНИЕ ПОДАЧИ И СОЛ НА ВЕЛИЧИНУ И ГЛУБИНУ ЗАЛЕГАНИЯ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ СПИЛОВА ВЪЗРУШЕНИЯХ $t = 2$ мм, $h_3 = 0,6$ мм

Вид СОЛ	Параметры	Подачи, мм/об							
		0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	
Воздух $v = 0,67$ м/с	σ_{max} , МПа	91	-	16	-17,5	27	-3	-8	
	σ_{max}	3,5	-	2	2	14	9,5	8	
	$\sigma = 0$	24	-	42	13,5	57,5	27	12	
ВХН-459 $v = 0,5$ м/с	σ_{max} , МПа	-	45,5	17	24	-	23	-	
	σ_{max}	-	13,5	14	14,5	-	26	-	
	$\sigma = 0$	-	25	27	36	-	70	-	

до +320 МПа, при тчении со скоростью 0,5 м/с с применением охлаждения ИХП-459 от-280 МПа до+170 МПа, при охлаждении Аквод-10 от -270 МПа до +230 МПа.

Приведенные результаты также показывают, что в зависимости от рода обрабатываемого материала, величины наклона, уровня скорости резания и подачи одна и та же СОЖ может оказывать различное влияние на величину и глубину залегания максимальных напряжений. Широкоприменяющаяся СОЖ ЭТ-2 при тчении сплава ЭИ698ВД со скоростями резания $v \geq 0,5$ м/с, по сравнению с тчением без СОЖ, способствует уменьшению остаточных напряжений растяжения, но увеличивает глубину их проникновения; при скорости 0,5 м/с применение этой СОЖ способствует увеличению остаточных напряжений и уменьшает глубину их проникновения. При тчении сплава ВТ9 применение указанной эмульсии в исследованном диапазоне скоростей способствует увеличению остаточных напряжений по сравнению с резанием всухую. Однако при износе $h_3 \leq 0,1$ мм это будут напряжения сжатия, а при $h_3 = 0,5 - 0,6$ мм - напряжения растяжения. Более того, в зависимости от способа подачи СОЖ в зону резания влияние ее на процесс формирования остаточных напряжений также может быть различным. Применение ЭТ-2 в виде высоконапорной струи под давлением 0,5...0,6 МПа при тчении сплава ЭИ698ВД способствует более сильному уменьшению остаточных напряжений растяжения во всем диапазоне скоростей, чем при обычном поливе, применение которого при скорости резания 0,5 м/с вызывает даже их увеличение.

Приведенные результаты показывают, что механизм влияния СОЖ на остаточные напряжения очень сложен и требует своего дальнейшего глубокого изучения. Однако уже сейчас ясно, что СОЖ можно использовать для регулирования остаточных напряжений, возникающих при обработке металлов резанием, в частности, при обработке жаропрочных сплавов типа ЭИ698ВД.

Л и т е р а т у р а

1. К р а в ч е н к о Б.А. Силы, остаточные напряжения и трение при резании металлов. - Куйбышев: КуАИ, 1962.
2. М а к а р о в А.Д. Оптимизации процессов резания. - М.: Машиностроение, 1976, с. 147-156.