УДК 620.17

ШТАМПОВКА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ГОРЯЧИХ ШТАМПАХ

Готлиб Б.М., Сергеев Р.Ф.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», Екатеринбург, e-mail: gotlib@usurt.ru

Приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований температурных полей штампов при штамповке крупногабаритных изделий из алюминиевых и высокопрочных сплавов. Определены температурно-временные режимы штамповки крупногабаритных изделий в горячих штампах, приближенные к изотермической штамповке. Экспериментальное исследование температурных полей в штампе выполнено в промышленных условиях на мощном вертикальном гидравлическом прессе усилием 300 МН. Для замера температурных полей использовали термопары, встроенные в тело штампа. Аналитическое исследование нестационарных температурных полей проведено с использованием приближенных вариационных методов. Показано, что штамповка крупногабаритных алюминиевых изделий в горячих штампах может быть реализована в режимах, близких к изотермическим даже без использования дополнительного нагрева штампов встроенными нагревателями. При штамповке крупногабаритных изделий из высокопрочных сплавов можно построить температурно-временной режим штамповки, приближающийся к изотермическому за счет создания временных пауз между штамповкой отдельных изделий. Полученные результаты исследования можно использовать для совершенствования технологии штамповки крупногабаритных изделий на мощных прессах.

Ключевые слова: горячие штампы, температурное поле, изотермический режим штамповки, мощный пресс, крупногабаритное изделие

LARGE-SIZED DIE FORGING IN HOT DIES

Gotlib B.M., Sergeev R.F.

Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, e-mail: gotlib@usurt.ru

The results of analytical and experimental research of temperature fields in stamping dies of large-sized products of aluminum and high-strength alloys have been brought. The temperature-time modes of large-sized products forming in hot dies, approximated to isothermal forging have been set up. Experimental study of temperature fields in the die is made in industrial conditions on a powerful vertical hydraulic press 300 MN. For the measurement of temperature fields the thermocouple embedded in the body of the die were used. Analytical study of unsteady temperature fields was conducted with the use of approximate variational methods. It has been shown that aluminum large-sized products forming in hot dies may be implemented in nearly isothermal conditions, even without additional heating of stamps with the help of embedded heaters. When stamping large-sized products of high-strength alloys a time-temperature regime approaching isothermal forging through the creation of temporary pauses between the individual stamping products can be created. The obtained results of the study can be used to improve the technology of large-sized products forming with powerful presses.

Keywords: large-sized products, powerful press, isothermal forging, temperature field, hot dies

Одним из способов получения точных крупногабаритных изделий из легких сплавов и специальных высокопрочных сталей и сплавов методами горячей штамповки является изотермическая штамповка и штамповка крупногабаритных изделий в горячих штампах, нагретых ниже температуры штампуемой заготовки (в условиях, приближающихся к изотермической штамповке). По сравнению с традиционными методами изотермическая штамповка имеет ряд преимуществ, дающих возможность повысить коэффициент использования металла до 0,5...0,9 против 0,1...0,2, а также снизить припуски и повысить точность размеров штампуемых изделий. Применение изотермической штамповки позволяет получать точные изделия с ребрами высотой 100...150 мм и толщиной 1...1,5 мм с минимальными штамповочными уклонами 0...30′. При этом появляется возможность вести процесс горячей штамповки на низких скоростях, используя при необходимости состояние сверхпластичности материала (необходимое условие для осуществления этого процесса состоит в создании равновесной структуры обрабатываемого материала с величиной зерна 5...10 мкм).

Однако возможности изотермической штамповки высокопрочных сплавов в значительной степени ограничены в связи с необходимостью применения штампов из сплавов на молибденовой основе. Применение таких штампов возможно только в вакуумированных установках или инертной среде, что повышает трудоемкость и стоимость процесса штамповки, усложняет конструкцию пресса. Штампы на никелевой основе позволяют осуществлять штамповку на воздухе при температуре до 900...950 °С. Но из этих сплавов нельзя получить штамповые заготовки больших размеров, и, кроме того,

они отличаются высокой стоимостью и трудоемкостью при механической обработке.

Все это ограничивает применение изотермической штамповки для получения крупногабаритных изделий из высокопрочных сплавов. В то же время изотермическая штамповка крупногабаритных изделий из алюминиевых сплавов успешно реализована на гидравлических прессах усилием 300 МН в Великобритании (фирма Cameron), России (ОАО «КУМЗ») и во Франции на прессе усилием 650 МН (фирма Cegedur Pehiney). Для штамповки же крупногабаритных изделий из высокопрочных сталей и сплавов на практике нашел применение способ штамповки в горячих штампах, нагретых ниже температуры заготовки (так называемый способ «квазиизотермической» штамповки). В этом случае можно обойтись без изотермической установки для активного обогрева штампового набора [1, 2, 3].

Цель исследования. При штамповке крупногабаритных изделий из алюминиевых сплавов в горячих штампах без активных нагревателей наблюдается медленное снижение температуры штампов в процессе непрерывной штамповки заготовок. При штамповке же изделий из высокопрочных сплавов, наоборот, наблюдается интенсивное повышение температуры рабочей поверхности штампов на 25...40°С за один цикл штамповки [1]. В процессе непрерывной штамповки 7...8 изделий температура рабочей поверхности штампа достигает предельно допустимых значений 550...580°С, соответствующих температуре отпуска штампа из стали 5ХНМ [2, 3, 4, 5].

Поэтому необходимо создавать паузы между штамповками для естественного охлаждения штампового набора. Изменяя среднюю скорость штамповки и создавая паузы между штамповкой от одного изделия к другому (в зависимости от фактической температуры штампов), можно изготовить партию изделий в условиях, близких к изотермическим.

Поэтому целью настоящей работы является исследование температурно-временных режимов штамповки крупногабаритных изделий в горячих штампах, приближающих их к изотермической штамповке.

Материалы и методы исследования

Распределение температурных полей в крупногабаритных горячих штампах было получено в результате экспериментального и аналитического исследования процессов штамповки изделий из алюминиевых и титановых сплавов на мощных вертикальных гидравлических прессах.

Экспериментальное исследование температурных полей в штампе выполнялось в промышленных условиях на мощном гидравлическом прессе усилием 300 МН. Для замера температурных полей в штампе высверливали трехступенчатые по глубине отверстия диаметром 28, 18 и 10 мм с различными расстояниями от рабочей поверхности штампа. В отверстия забивали пробки с зачеканенными в них термопарами. Расстояния от спая первой термопары до рабочей поверхности штампа выбирали минимальным, но, исходя из условий прочности штампа, это расстояние составляло не менее 10 мм. Всего в тело штампа для штамповки круглой заготовки из титанового сплава ВТ9 было установлено 7 термопар в трех положениях по радиусу штампа.

Аналитические исследования нестационарных температурных полей при штамповке круглых дисков из титанового сплава ВТ9 проведены с использованием приближенно-аналитической реализации пошагового вариационного метода решения нестационарных связанных краевых задач пластического деформирования (тепловой части связанной задачи) [1].

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 приведены экспериментальные данные об интенсивности охлаждения при отсутствии нагревателя штампового набора в паузах между штамповками на прессе усилием 650 МН (Cegedur Pehiney – Франция). Замер температуры осуществлялся штыковой термопарой [4].

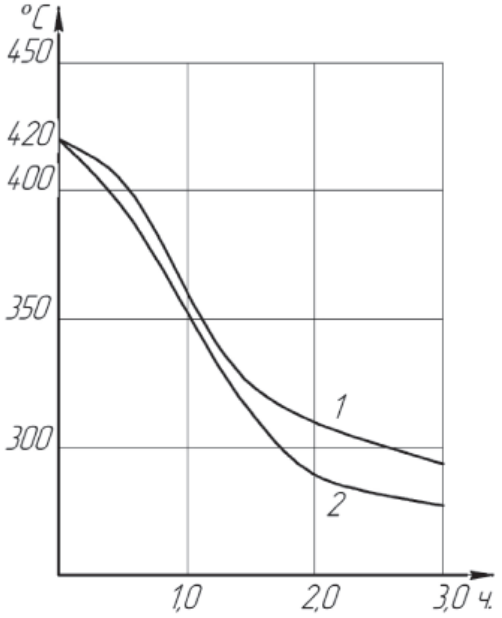

Рис. 1. График охлаждения штампового набора на прессе усилием 650 МН: 1 – с изоляцией из асбокартона между штампом и подштамповой плитой; 2 – без изоляции

Слежение за температурой штампового набора вертикального гидравлического пресса усилием 300 МН (масса штампового набора около 58 т), оборудованного нагревателями общей мощностью 350...390 кВт,

при штамповке заготовок массой 118...173 кг из алюминиевого сплава Д1 показало, что интенсивность охлаждения штампов (при выключенных нагревателях) в паузу между штамповками составляет 50...60°С в час. В процессе штамповки каждой заготовки (при включенных нагревателях) – на 20...30°С. В процессе непрерывной штамповки заготовок температура штампа надолго стабилизируется около 450°С (при температуре нагрева штампов в печи 400...450°С и температуре штампуемых заготовок 420...470°С). В целом же наблюдается медленное снижение температуры штампов: при предварительной штамповке на 200°С за 26 часов работы, при окончательной штамповке на 120°С за 6 часов. Следует отметить, что невысокая тепловая мощность нагревателя (около 6,7 Вт/кг штамповой оснастки) восполняет только роль активной теплозащиты штампов от охлаждения [1].

В табл. 1 приведены результаты измерения температурного поля штампа в процессе штамповки дисков из титанового сплава ВТ9 (радиус и высота диска соответственно $R_ш = 0{,}31$ м и $H_ш = 0{,}05$ м, радиус и высота штампа – $R = 0{,}8$ м и $H = 1{,}5$ м). Материал штампа – сталь 5ХНМ.

На рис. 2 показана схема расположения термопар в теле штампа и расстояние от этих точек до рабочей поверхности штампа.

Аналитическая задача определения температурных полей решалась для круглого штампа конечных размеров (R, H) с учетом геометрических размеров гравюры штампа ($R_ш$, $H_ш$). Процесс штамповки одной заготовки делится на 2 этапа: первый этап – сжатие заготовки (процесс доштамповки), второй – охлаждение штампа на воздухе (пауза между подачей следующей заготовки). Длительность этапов соответственно 30 и 90 с.

Таблица 1

Экспериментальные данные по распределению температур в штампе ДТ-152

Номера точек	Номера дисков							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	355	360	365/370	380/385	390	400	400	380/360
2	–	–	–	–	–	–	–	340/345
3	350	350	370/400	395/430	420	440	470	345/350
4	350	350	350	350/355	355	360	365	360/355
5	–	350	390	390/395	395	405	410	350/355
6	–	–	405	410/420	425	430	450	355/350
7	–	–	–	375/380	380	400	400	350/360
	9	10	11	12	13	14	15	
1	375	375	385	395	400	400	–	
2	–	–	–	–	–	–	–	
3	375	360	385	400	420	420	445	
4	350	350	355	355	360	365	–	
5	360	370	380	390	400	405	–	
6	360	380	395	400	410	430	–	
7	350	355	360	365	380	385	–	

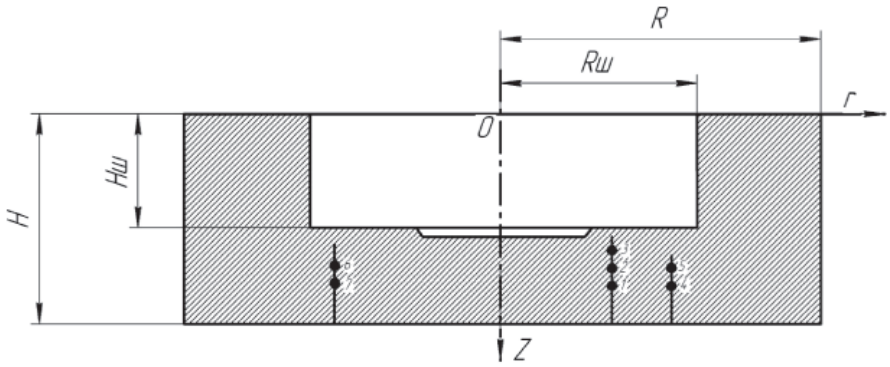

Рис. 2. Схема расположения термопар в теле штампа:
1 – 115 мм; 2 – 47 мм; 3 – 18 мм; 4 – 118 мм; 5 – 61 мм; 6 – 65 мм; 7 – 119 мм

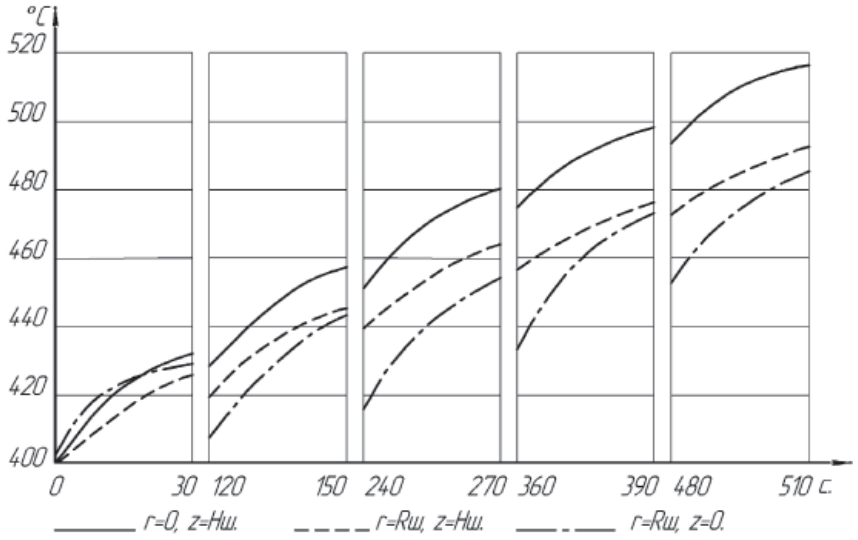

Рис. 3. Изменение температуры некоторых точек гравюры штампа при непрерывной штамповке пяти заготовок

На рис. 3 и в табл. 2 приведены расчетные и экспериментальные значения температур некоторых точек штампа в зависимости от времени штамповки и числа последовательных штамповок из титанового сплава (при условии применения стеклоэмалевых покрытий).

Результаты исследования свидетельствуют, что при штамповке крупногабаритных изделий их алюминиевых сплавов в горячих штампах, нагретых в печи до температуры 400...450 °C и при температуре штампуемых заготовок 420...470 °C, создаются условия для изотермической штамповки, даже в том случае, если штамповые наборы не оборудованы нагревателями.

Таблица 2

Распределение температур в объеме штампа

r	Z-$H_ш$, мм	1		2		3		4		5	
		$T_н$	$T_к$	$T_н$	$T_к$	$T_н$	$T_к$	$T_н$	$T_к$	$T_н$	$T_к$
0	0	400	429	428	455	452	479	474	499	494	518
	50	399	422	422	444	442	463	459	479	476	495
	100	398	415	416	433	432	448	446	461	459	472
	150	396	409	409	422	422	434	433	443	443	453
	205	393	402	403	412	412	421	421	429	428	436
	0	400	423	426	452	449	474	470	493	488	511
	50	399	421(430)	420	441(445)	437	456(460)	455	472(470)	471	488(490)
$R_ш/2$	100	398	415(415)	414	431(430)	429	445(440)	443	457(450)	455	467(460)
	150	395	408	409	421	420	431	430	441	440	449
	200	393	402	403	411	411	411	419	426	425	433
	$-H_ш$	400	428	403	441	418	456	433	471	446	484
	$-H_ш/2$	400	426	414	441	430	457	446	472	460	485
	0	400	423	421	443	439	459	455	474	469	488
$R_ш$	50	399	417(410)	416	433(440)	430	447(445)	444	459(450)	455	470(465)
	100	398	412(410)	411	424(420)	423	435(430)	433	444(450)	442	453(450)
	150	396	406	406	415	415	424	423	431	421	438
	200	393	400	400	407	407	413	413	419	418	424

Примечания: $T_н$ и $T_к$ – начальная и конечная температуры этапа сжатия; в скобках приведены экспериментальные значения температур.

Аналитические и экспериментальные исследования температурных полей в теле крупногабаритных штампов при штамповке изделий из титановых сплавов подтвердили, что в процессе непрерывной штамповки температура рабочей поверхности штампа повышается на 25...35°С, и после штамповки 7...8 изделий достигает температуры 550...580°С. Во время же паузы между штамповками штамп успевает охладиться только на 5...10°С. На расстоянии около 250 мм от рабочей поверхности штампа температура практически остается неизменной в процессе штамповки. Градиент температуры по топологии штампуемого диска на оси симметрии составляет около 100°С, снижаясь до 60°С при пятой штамповке. Это снижение градиента обуславливается разогревом штампа в процессе штамповки, приближающим процесс штамповки к изотермическому.

За счет создания пауз между штамповками отдельных изделий для естественного охлаждения штампового набора можно выдержать температуру штампа на допустимо высоком уровне в процессе штамповки партии изделий, приближающую режим штамповки к изотермическому.

Выводы

1. Исследованы температурно-временные режимы штамповки крупногабаритных изделий из алюминиевых и высокопрочных сплавов и сталей.

2. Показано, что при штамповке крупногабаритных изделий из алюминиевых сплавов можно обеспечить режим штамповки, приближающийся к изотермическому (даже без использования дополнительных нагревателей штампового набора). При дополнительном оснащении прессов нагревателями штампового набора мощностью 10...15 Вт/кг штамповой оснастки можно реализовать изотермический режим штамповки.

3. При штамповке крупногабаритных изделий из высокопрочных сплавов, за счет создания пауз между штамповками, можно реализовать температурно-временной режим штамповки изделий в горячих штампах, приближающийся к изотермическому. Для обеспечения же изотермического процесса штамповки необходимо оборудовать мощные гидравлические прессы водоохлаждаемыми подштамповыми плитами и системой терморегулирования процесса штамповки.

4. Полученные результаты исследования можно использовать для совершенствования технологий штамповки крупногабаритных изделий на мощных прессах.

Список литературы

1. Готлиб Б.М., Добычин И.А., Готлиб М.Б. Автоматизированные кузнечно-прессовые комплексы (опыт создания и эксплуатации). – Екатеринбург: Изда-во Уральской государственной академии путей сообщения, 1998. – 647 с.

2. Готлиб Б.М., Крещенко И.Н., Сергеев Р.Ф. Интеллектуализация процессов обработки металлов давлением: концептуальное проектирование технологических процессов и систем управления // Интеллектуальные системы управления: коллективная монография. – М.: машиностроение, 2010. – С. 272–287.

3. Готлиб Б.М., Сергеев Р.Ф., Вакалюк А.А. Механические свойства штамповых сталей // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.; URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id = 10828 (дата обращения: 24.12.2015).

4. Белов А.Ф., Розанов Б.В., Линц В.П. Объемная штамповка на гидравлических прессах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: машиностроение, 1986. – 240 с.

5. Готлиб Б.М., Сергеев Р.Ф. Повышение стойкости крупногабаритных штампов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id = 17043 (дата обращения: 24.12.2015).

References

1. Gotlib B.M., Dobychin I.A., Gotlib M.B., *Avtomatizirovannye kuznechno-pressovye kompleksy (opyt sozdanija i jekspluatacii)*. [Automated forge-and-press complexes (development and exploitation experience)], Ekaterinburg, Izda-vo Uralskoj gosudarstvennoj akademii putej soobshhenija, 1998. 647 p.

2. Gotlib B.M., Kreshhenko I.N., Sergeev R.F. *Intellektualizacija processov obrabotki metallov davleniem: konceptualnoe proektirovanie tehnologicheskih processov i sistem upravlenija // Intellektualnye sistemy upravlenija: kollektivnaja monografija.* Moscow, mashinostroenie, 2010, pp. 272–287.

3. Gotlib B.M., Sergeev R.F., Vakaljuk A.A., *Mehanicheskie svojstva shtampovyh stalej. – Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2013, no. 6, available at: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id = 10828 (accessed 24 December 2015).

4. Belov A.F., Rozanov B. V., Linc V.P., *Obyemnaja shtampovka na gidravlicheskih pressah. – 2-e izd, pererab. I dop*. (Forging on hydraulic presses. – 2nd edition), Moscow, mashinostroenie, 1986. 240 p.

5. Gotlib B.M., Sergeev R.F., *Povyshenie stojkosti krupnogabaritnyh shtampov*. *– Sovremennye problemy nauki i obrazovanija.* 2014, no 6, available at: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id = 17043 (accessed 24 December 2015).