

ваний для построения достоверных высокоточных расчетных моделей элементов биомеханических систем.

8. Путем сравнения с известными экспериментальными данными с применением разработанной РЭТИ построена конечно-элементная модель, достаточно точно описывающая характеристики НДС исследуемой системы.

При проведении дальнейших исследований на основе полученных количественных и качественных зависимостей, а также результатов клинических исследований разрабатываются окончательные рекомендации по рациональному применению полиаксиальных винтов в хирургии позвоночника. При этом отдельного подробного изучения требует вопрос исследования влияния параметров гидроксил-апатитной керамики и титановых эндопротезов, а также формы и характеристик межпозвонковых кейджей на НДС сегментов позвоночного столба.

Список литературы: 1. *Ткачук М.А., Веретельник Ю.В., Пионтковский В.К.* Биомеханічні системи: узагальнений параметричний опис. // Вісник НТУ „ХПІ” Тем. вип. „Машинознавство та САПР” – Харків: НТУ „ХПІ”, 2006.– № 3. – С.173-179. 2. *Tkachuk N.A., Veretelnyk Y.V., Tkachuk N.N.* Generalized parametrical approach to research of biomechanical systems elements. Advanced Information and Telemedicine Technologies for Health (AITTH’2005): Proceedings of the International Conference (November 8–10, 2005, Minsk, Belarus). In two volumes. Vol. 2. – Minsk: United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, 2005. – PP.63-67. 3. *Veretelnyk Y.V., Radchenko V.A., Shmanko A.P.* The stressed-deformed state automated analysis system of the implants used in spine reconstruction-restoration operations. Advanced Information and Telemedicine Technologies for Health (AITTH’2005): Proceedings of the International Conference (November 8–10, 2005, Minsk, Belarus). In two volumes. Vol. 2. – Minsk: United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, 2005. – PP.68-71. 4. *Веретельник Ю.В.* Моделирование свойств материалов биомеханических систем: модели, подходы, численный эксперимент. // Вісник НТУ „ХПІ” Тем. вип. Динаміка і міцність машин. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2005.– № 47. – С.29-35. 5. *Ткачук М.А., Рабоченко В.О., Веретельник Ю.В.* Узагальнений параметричний опис складних біомеханічних систем. // Вісник НТУ „ХПІ” Тем. вип. Динаміка і міцність машин. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2005.– № 47. – С.173-180. 6. *Веретельник Ю.В.* Расчетно-экспериментальное определение напряженно-деформированного состояния титановых эндопротезов // Вісник НТУ „ХПІ” Тем. вип. “Машинознавство і САПР” – Харків: НТУ „ХПІ”, 2005.– № 53. – С.40-54. 7. *Рабоченко В.А., Шманько А.Л., Ткачук Н.А., Веретельник Ю.В.* Моделирование поведения биомеханических систем „позвонок-эндопротез” на основе метода конечных элементов // Ортопедия и травматология. – 2005. – № 1. – С.24-31. 8. *Веретельник Ю.В.* К вопросу моделирования свойств материалов биомеханических систем // Механіка та машинобудування – Харків: НТУ „ХПІ”, 2005.– № 1. – С.284-288. 9. *Пионтковский В.К., Веретельник Ю.В.* Исследование влияния параметров полиаксиального винта на напряженно-деформированное состояние сегментов позвоночника с системой фиксации // Вісник НТУ „ХПІ” Тем. вип. „Машинознавство і САПР” – Харків: НТУ „ХПІ”, 2007.– № 3. – С.125-137. 10. *Zienkiewicz O.C.* The Finite Element Method, McGraw-Hill Company, London, (1977). 11. *Sasidhar Vadapalli.* Stability imparted by a posterior lumbar interbody fusion cage following surgery – A biomechanical evaluation // master’s thesis. The University of Toledo College of Engineering, 2004. – 158 p. 12. *Srilakshmi Vishnubhotla.* A Biomechanical Evaluation of Dynamic Stabilization Systems // master’s thesis. The University of Toledo College of Engineering, 2005. – 235 p. 13. *Miranda N. Shaw.* A Biomechanical Evaluation of Lumbar Facet Replacement Systems // master’s thesis. The University of Toledo College of Engineering, 2005. – 222 p. 14. *Naira H. Campbell-Kyureghyan.* Computational analysis of the time- dependent biomechanical behavior of the lumbar spine // Ph.D. thesis. The Ohio State University, 2004. – 273 p. 15. *Kopperdahl D.L., Keaveny T.M.* Quantitative computed tomography estimates of the mechanical properties of human vertebral trabecular bone. // Journal of Orthopaedic Research. – 2002. – № 20. – P.801-805. 16. *Jaasma M.J., Bayraktar H.H., Niebur G.L., Keaveny T.M.* Biomechanical effects of intraspecimen variations in tissue modulus for trabecular bone. // Journal of Biomechanics. – 2002. – № 35. – P.237-246. 17. *Keaveny T.M., Morgan E.F., Niebur G.L., Yeh O.C.* Biomechanics of trabecular bone. // Annual Reviews

in Biomedical Engineering. – 2001. – № 3. – P. 307-333. 18. *Eswaran S.K., Gupta A., Adams M.F., Keaveny T.M.* Cortical and trabecular load sharing in the human vertebral body. // Journal of Bone and Mineral Research. – 2006. – № 21 (2). – P.307-314. 19. *Liebschner M.A.K., Kopperdahl D.L., Rosenberg W.S., Keaveny T.M.* Finite element modeling of the human thoracolumbar spine. – Spine. – 2003. – № 28. – P.559-565. 20. *Keaveny T.M., Yeh O.C.* Architecture and trabecular bone: Toward an improved understanding of the biomechanical effects of sex and osteoporosis. // Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions. – 2002. – № 2. – P.205-208. 21. *Yeh O.C., Keaveny T.M.* Relative roles of microdamage and microfracture in the mechanical behavior of trabecular bone. // Journal of Orthopaedic Research. – 2001. – № 19. – P.1001-1007. 22. *Morgan E.F., Yeh O.C., Keaveny T.M.* Nonlinear behavior of trabecular bone at small strains // Journal of Biomechanical Engineering. 2001. – № 123. – P.1-9. 23. *Niebur G.L., Feldstein M.J., Yuen J.C., Chen T.J., Keaveny T.M.* High-resolution finite element models with tissue strength asymmetry accurately predict failure of trabecular bone. // Journal of Biomechanics. – 2000. – № 33. – P.1575-1583. 24. *Niebur G.L., Yuen J.C., Hsia A.C., Keaveny T.M.* Convergence behavior of high-resolution finite element models of trabecular bone. // Journal of Biomechanical Engineering. – 1999. – № 121. – P.629-635.

Поступила в редколлегию 25.05.2007

УДК 623.43:621.96

А.Д. ЧЕПУРНОЙ, докт. техн. наук, **А.В. ЛИТВИНЕНКО**, канд. техн. наук, **И.В. АРТЕМОВ**, ОАО „Головной специализированный конструкторско-технологический институт”, г. Мариуполь

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАРТ РАСКРОЯ, ПОДГОТОВКИ И ВЫПУСКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ МАШИН ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ БРОНЕДЕТАЛЕЙ КОРПУСОВ И БАШЕН БТР

У статті розглянуті питання автоматизованого проектування карт розкрою листового металу, підготовки і випуску керуючих програм для машин термічної різки з числовим програмним управлінням у виробництві бронедеталей корпусів і башт БТР в умовах виробництва ВАТ „Азовмаш” з використанням системи автоматизованого проектування „INTECH - РОЗКРІЙ”.

In the article the questions of the automated design of cutting out cards of sheet metal, preparation and output of the control programs are considered for the machines of thermal cutting with numerical control in the production of armoured details of hulls and towers of armoured troop-carrier in the conditions of production at „Azovmash” Company with the use of CAD-system „INTECH- RASKROY”.

Введение. На ОАО „Азовмаш” впервые в Украине освоено серийное производство корпусов и башен бронетранспортеров БТР-3Е и БТР-ДА, конструкции которых разработаны КП „ХКБМ им. А.А. Морозова”. Исторически сложилось так, что центры изготовления БТР в бывшем СССР были сосредоточены на территории Российской Федерации, в связи с чем для обеспечения выпуска отечественных легкобронированных машин этого класса потребовалось организовать полный цикл производства в Украине.

На ОАО „Азовмаш” решалась задача организации изготовления броневых корпусов БТР, являющихся основой машины, объединяющей в единое целое все агрегаты и механизмы БТР и служащей для размещения и защиты

экипажа от поражения огнем стрелкового оружия, а также воздействия оружия массового поражения.

Корпус БТР представляет собой замкнутую объемную конструкцию, имеющую чрезвычайно сложную структуру и состоящую из большого количества преимущественно плоских деталей различной толщины и формы, элементов усиления, отверстий, вырезов, люков и т.п. Более 550 деталей корпуса изготавливается из листовой противоположной броневой стали различной толщины. Поэтому при освоении серийного выпуска корпусов БТР одной из важнейших задач является организация четкого и ритмично налаженного заготовительного производства бронедеталей, необходимых для сборки.

Большинство заготовок деталей, формирующих корпус, а также башню БТР, вырезаются из листовой броневой стали методом кислородной резки. Это, прежде всего, заготовки сложной формы, а также все детали в толщинах свыше 16 мм. Очевидно, что вопрос рационального использования дорогостоящей броневой стали при организации серийного производства таких изделий играет важную роль с точки зрения обеспечения его экономических показателей. Поэтому задача рационального раскроя листовой броневой стали под нарезку является весьма важной и актуальной для данного производства.

Состояние проблемы. В ОАО „Азовмаш” порезка заготовок деталей для корпусов и башен БТР осуществляется на машинах термической резки с числовым программным управлением (МТР с ЧПУ) „Комета-2,5” и „Альфатех”. Автоматизированный раскрой листового металла производится с использованием САПР „ИНТЕХ – РАСКРОЙ” (совместная разработка НПП „Интех” (г. Одесса, Украина) и „Винтех” (г. Варна, Болгария)) [1]. В результате работы системы формируются карты раскроя, включающие планы раскроя и маршруты резки, а также генерируются управляющие программы для МТР с ЧПУ. Главным критерием оптимизации получаемых схем раскроя служит коэффициент использования материала (КИМ), значение которого рассчитывается путем получения отношения суммарной площади всех размещенных на заготовке деталей к площади заготовки. Следовательно, чем выше значение КИМ, тем более оптимальной считается схема раскроя.

Исходными данными для разработки карт раскроя и управляющих программ на МТР „Комета-2,5” и „Альфатех” являются: чертежи детали; параметры листа (ширина, длина, толщина и плотность материала); технологический эскиз (с припусками, пробами, местом маркировки); технологический процесс (диаметр резака, места нахождения перемычек, их количество и ширина).

Процесс проектирования начинается с вычерчивания контура деталей. Вычерчивание может производиться в одном из графических пакетов: AutoCAD, КОМПАС, Интех-Р и т.д. На ОАО „Азовмаш” создана база данных из более 400 деталей сложной конфигурации корпусов и башен БТР, разработанных в графическом пакете AutoCAD. На рис.1 для примера представлен чертеж детали корпуса отечественного бронетранспортера БТР-3Е „Лист носовой верхний”, выполненный в указанном графическом пакете.

Процесс размещения деталей на листе начинается с выбора из справоч-

ника или ввода габаритов листа, после чего осуществляется рациональная укладка на нем контуров деталей с учетом технологических требований к их вырезке. Прежде всего, это требования направлены на минимизацию возникающих при кислородной резке остаточных термических напряжений в вырезаемых заготовках. Такие напряжения могут приводить к значительным деформациям этих заготовок, поэтому при разработке карт раскроя выполняется ряд типовых правил. Одно из основных – обеспечение вырезки в замкнутом контуре, в связи с чем максимальный размер вырезаемой заготовки ограничивается габаритами листа, уменьшенными на 20мм со всех сторон. Узкие и длинные детали рекомендуется располагать вдоль продольной кромки листа, причем наиболее длинные ближе к кромке, от которой начинается резка, более короткие – к середине листа и к противоположной кромке. Детали, имеющие вырезы по контуру, рекомендуется располагать этой частью контура в сторону кромки листа, от которой начинается вырезка детали. В случае наличия большого количества однотипных заготовок рациональный раскрой осуществляется при условном разделении листа на полосы, кратные количеству задаваемых резаков газорезательной машины.

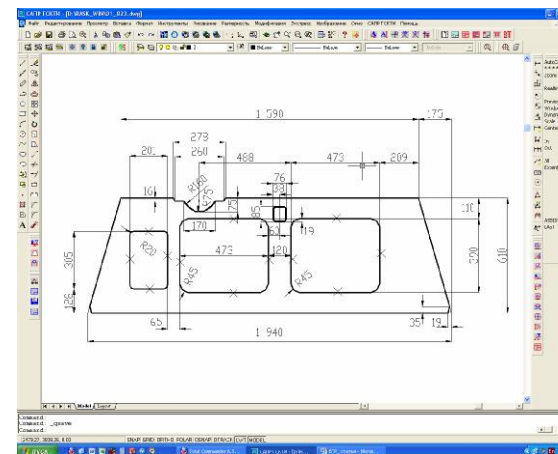


Рис. 1. Чертеж детали „Лист носовой верхний” корпуса БТР-3Е

К дополнительным специфическим требованиям при вырезке деталей из броневых марок стали может относиться также ориентация детали относительно направления проката, расстояние между деталями, расположение перемычек, местонахождение и размеры специальных остаточных проб и др. На рис. 2 представлена укладка детали корпуса БТР-3Е „Лист носовой верхний” на стандартном листе броневой стали марки „7” шириной 1300 мм.

В конструкции корпуса и башни БТР-3Е применяется 13 толщин броневой стали (диапазон толщин 4÷45 мм). При серийном производстве, как правило, запускается в изготовление сразу несколько изделий, на которые требу-

ется обеспечить вырезку всех необходимых для сборочного процесса деталей. В связи с этим, при раскрое листовой стали каждой конкретной толщины необходимо предусмотреть вырезку всех требуемых деталей и заготовок, имеющих данную толщину, в требуемом для обеспечения производственной программы количестве.

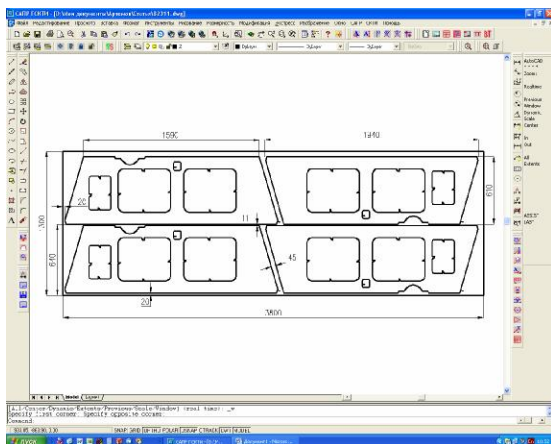


Рис. 2. Размещение деталей на листе

Из базы данных всех листовых деталей БТР выбираются детали заданной толщины с указанием их необходимого количества. Эта выборка (список деталей-претендентов) и представляет собой задание на проектирование в системе „ИНТЕХ – РАСКРОЙ”. Требуемые карты раскроя формируются при размещении деталей-претендентов на одном или нескольких листах.

Из задания на проектирование, при необходимости, можно выделить любое подмножество деталей, которое называют „очередью претендентов”. В режиме автоматического проектирования система „ИНТЕХ – РАСКРОЙ” последовательно выполняет задачи размещения для элементов очереди, заполняя текущий лист и переходя к следующему.

Размещение деталей на листе может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме. САПР „ИНТЕХ – РАСКРОЙ” предоставляет универсальный механизм управления процессом размещения деталей, работающий незаметно для пользователя и обеспечивающий проектировщику возможность без ограничений чередовать методы размещения в процессе создания карты [2].

В системе имеется возможность указывать для деталей-претендентов стратегии их размещения, для чего в очереди претендентов предусмотрены средства формирования порядка следования деталей. Можно сделать несколько попыток размещения детали для разных угловых положений, из которых будет выбрано лучшее. Диапазон изменения угла поворота детали задается начальным и конечным углами и шагом. Значения углов могут быть

определены в момент интерактивного вращения изображения детали. Критерии оценки оптимальности расположения выбираются из списка допустимых значений и могут быть уникальными для каждой из деталей.

Очередь претендентов используется как для ручного, так и для автоматического размещения. Процесс проектирования может прерываться для изменения параметров стратегии: порядка следования деталей, углов поворота и др., а затем проектирование возобновляется, предоставляя, таким образом, максимальную гибкость управления раскроем.

На следующем этапе назначается маршрут обработки, т.е. траектория движения резака. Для построения траектории эффективной вырезки деталей в арсенале технолога есть масса приемов, а „ИНТЕХ – РАСКРОЙ” предоставляет возможность воспользоваться ими. В числе этих средств — подходы и отходы к контуру, пропуски в траектории, формирование петель на углах, обратный изгиб (для компенсации тепловых деформаций), использование эквидистантного корректора. Каждый из этих элементов можно регулировать: изменять вид и размеры подходов, места расположения пропусков на контуре. Для петель можно выбирать одну из предварительно заданных форм или самостоятельно программировать произвольную пользовательскую форму.

Спроектированная траектория в соответствии со структурой управляющих программ (УП) представляется в виде XML — описания тела УП, где хранится перечень всех действий, которые должен выполнить станок для формирования карты раскроя. Этот файл и является прообразом УП. Благодаря применению в „ИНТЕХ – РАСКРОЙ” универсального формата XML данная информация становится одинаково удобной для компьютера (при осуществлении перевода на язык СЧПУ) и для человека (при знакомстве с полученной картой раскроя на языке символов и цифр).

Когда детали уже размещены на листе и траектории построены, необходимо указать инструменту: в каком порядке на быстром ходу обойти точки конца предыдущей и начала следующей траектории. Это также важный этап разработки управляющей программы, т.к. порядок следования резака по траектории непосредственно влияет на уровень остаточных напряжений в вырезаемых заготовках, т.е. на их деформацию. В связи с этим, необходимо учитывать известные технологические приемы, направленные на снижение термических напряжений при кислородной резке листовых заготовок:

- осуществлять резку отдельных участков контура детали в такой последовательности, при которой деформации действовали бы в противоположных направлениях;
- начинать резку с кромки детали, имеющей наибольшую длину, а заканчивать на короткой кромке или кромке с припусками под механическую обработку;
- при наличии в детали внутренних вырезов, начинать резку с внутреннего контура;
- вырезку однотипных заготовок или раскрой листа на полосы производить одновременно несколькими резаками;

• вырезку производить на перемычках шириной 20-50мм с последующей обрезкой их вручную после полного остывания металла и т.п.

Для задания режущему инструменту оптимального порядка движения по траектории в системе „ИНТЕХ – РАСКРОЙ” предусмотрен ручной, автоматический и смешанный подход. Смешанный подход создает так называемый частичный маршрут, состоящий из важных для проектировщика связей между некоторыми контурами, а остальные расчеты выполняет программа. Результаты можно корректировать вручную. Скорости построения обхода позволяют выполнять его за приемлемое время даже в случае создания больших карт.

На изделие		Задание № 5697		Лист 1, листов 2		Форма 1	
Выполнить	Холобцева	Фабл	АЛЬФАТЕХ	82311	N12M72T0		
Выдано		Дата	04.03.05	Время	N13G1Y200		
Разработчик	Серкутин	Дата	04.03.05	Время	15.00 час.	N14G42	
		Конструктор	чертеж	Технология	Раскрой	N15X782	
Обозначение детали	Кол.	Материал	Изм.	Дата	В базе	N16G2X200Y-200I-200	
БТР-ДА.01.823	2	+	25.08.04	по зад. клиента	01 823	N17G1Y-1318	
						N18G40M74T0G0X-200Y-150	
						N19M72T0	
						N20G1X200	
						N21G42	
						N22Y-1182	
						N23G2X-200Y-200I-200	
						N24G1X-782	
						N25G40M74T0G0X-150Y200	
						N26M72T0	
						N27G1Y-200	
						N28G42	
						N29X-678	
						N30G2X-200Y200I200	
						N31G1Y986	
						N32G40M74T0G0X200Y150	
						N33G0X4833Y2149	
						N34M72T0	
						N35G1Y235	
						N36G42	
						N37X1907	
						N38G2X450Y-450I-450	
						N39G1Y-1543	
						N40G40M74T0G0X-200Y-150	
						N41M72T0	
						N42G1X200	
						N43G42	
						N44Y-1307	
						N45G2X-450Y-450I-450	

Габариты листа	1300x3800	Сталь	Спец	В	10
Отступы от края листа (слева, справа, низ, верх) <нет>					
Количество резаков, шт <1>	Диаметр резака, мм <0,0>				
Зона пробивки	20	Диаметр конического корректора <да>			
Скорость рабочего хода	400	Скорость холостого хода		6000	
Подход к контуру	нормаль/дуге	Возврат в т. пробивки <да>			
Обход контура	внутр.	по/против ч/с	внешнего	по/против ч/с	
Устранение угловых дуг <нет>	Совмещенный рез <нет>				
Перемычки	дв/нет	Кол	12x2	Шарпана	15
Для повтора	X	Кол	+	Y	Клн
					Разъемки
					20

Примечание
(BTR-DA.01.823 2DET)
(DIAM=0.0 B=10)
(#5697)
 N1G91
 N2G0X2425Y2768
 (N3G30G1K1+6300)
 N4I12
 N5M72T0
 N6G1X-235F400
 N7G42
 N8Y1412
 N9G2X200Y200I200
 N10G1X678
 N11G40M74T0G0X150Y-200

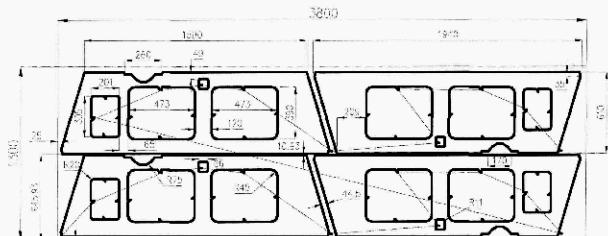


Рис. 3. Бланк управляющей программы

В конечном результате система выдает управляющую программу с опи-

санием прохода резака по контуру, с промежуточными включениями и отключениями резака (рис. 3). Управляющую программу проверяют путем обратного вычерчивания в среде AUTOCAD на предмет соответствия размеров деталей, технологических расстояний между ними и габаритами листа. В случае необходимости выполняется ручная доработка управляющих программ для ЧПУ „Комета” и „Альфатех”; осуществляется проверка на контроль ошибок в системе команд ЧПУ; осуществляется вычерчивание контура раскроя детали по управляющей программе в режиме эмуляции ЧПУ МТР. Разработанная управляющая программа является рабочей и выводится на магнитные носители для передачи в цех.

Заключение. В настоящее время в ОАО „Азовмаш” в САПР „ИНТЕХ – РАСКРОЙ” разработано более 400 управляющих программ резки заготовок деталей для корпусов и башен БТР на машинах термической резки с числовым программным управлением „Комета-2,5” и „Альфатех” (рис. 4).



Рис. 4. Порезка заготовок деталей для корпусов и башен БТР на машине термической резки с числовым программным управлением „АЛЬФАТЕХ” в заготовительном производстве ОАО „Азовмаш”

Созданный на предприятии электронный архив управляющих программ, чертежей и карт раскроя позволяет осуществлять быстрый поиск по заданным габаритам листа, по номеру чертежа, по названию программы и т.д. Внедрение САПР „ИНТЕХ – РАСКРОЙ” позволило значительно сократить время на разработку управляющих программ и карт раскроя, а также увеличить коэффициент использования листовой броневого стали до 95%.

Список литературы: 1. САПР карт раскроя. Интех-РАСКРОЙ. Руководство пользователя. – Одесса, 2005. – 125с. 2. Коновалов И. Раскрой – это очень просто! Если вы проектируете в системе Интех-РАСКРОЙ W/L // САПР и графика. – 2002. – № 11.

Поступила в редакцию 25.05.2007