

В начальный момент $x = 0$

$$\rho_0 = \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)^{\frac{3}{2}}}{\frac{g}{v_0^2 \cos^2 \alpha}} = \frac{v_0^2}{g \cos \alpha}.$$

В наивысшей точке функция $y = f(x)$ имеет максимум, поэтому $y' = 0$, а

$$\rho = \frac{1}{\frac{g}{v_0^2 \cos^2 \alpha}} = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}.$$

Полученные значения ρ по первому и второму способам в точности совпадают, и в зависимости от способа задания уравнения траектории можно пользоваться уравнениями (15), (18), (19) при параметрическом способе или уравнением (17) при координатном способе задания траектории.

Однако, при координатном способе задания траектории, т.е. когда известна функция $y = f(x)$, радиус кривизны траектории можно определить в любой ее точке, для чего необходимо вычислить только значения производных y' и y'' при соответствующих значениях аргумента x , что является весьма полезным при определении давления при движении, например, автомобиля по выпуклому мосту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Госиздат, 1963. – 870 с. 2 Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики. Ч. 1. М.: Высшая школа, 1984. – 343 с.

УДК 621.791.72

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Лапковский А.С.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВАЛИКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В последнее время все более широкое применение в различных отраслях промышленности находит лазерная наплавка покрытий [1, 2]. Область ее применения постоянно увеличивается. Она используется как традиционно, для восстановления размеров изношенных деталей машин и оборудования или придания поверхности определенных физико-механических характеристик [3, 4, 5], так и в сравнительно новых методах создания новых деталей (или ремонта деталей) путем их непосредственного формирования при наплавке с применением компьютерных пространственных (3D) моделей деталей и систем ЧПУ с обратной связью [6, 7, 8, 9, 10] (методы Direct Metal Deposition – DMD, Laser Rapid Forming – LRF, Rapid Prototyping – RP, Laser Engineered Net Shaping – LENS и тд.), а также для получения материалов с заранее заданными

ми градиентными свойствами по поверхности покрытия или по его толщине [11, 12, 13]. Поскольку образуемый при лазерной наплавке валик, в силу ее специфики, имеет сравнительно небольшие размеры (сопоставимые с диаметром луча лазера), необходимо с достаточно большой точностью выдерживать технологические параметры лазерной обработки, для чего особенно важно изучить закономерности формирования валиков при изменении режимов процесса. Потребность в подобном исследовании несомненна, особенно с учетом того, что освоение процесса лазерной наплавки является первым шагом в развитии методов непосредственного формирования деталей, о которых говорилось выше. В ведущих странах Европы, в США и Китае в этой области проводятся интенсивные исследования [14, 15, 16, 17], что позволило им добиться достаточно больших успехов в создании специального оборудования и технологий.

Нами была предпринята попытка исследовать основные особенности формирования геометрии поперечного сечения валиков получаемых при лазерной наплавке при изменении таких параметров, как дистанция наплавки и скорость наплавки.

В статье приведены результаты, полученные при нанесении порошков самофлюсующихся твердых сплавов на основе никеля ПГ-12Н-02 и на основе железа – ПГ-С27. Указанные порошки при помощи набора сит просеивались до грануляции 20-80 мкм, а затем просушивались в электропечи при температуре 200 °С в течение двух часов. Подача порошков в зону действия лазерного излучения производилась через специальное водоохлаждаемое сопло коаксиально лазерному лучу. В обоих случаях применялся лазерный технологический комплекс включавший газовый CO₂ лазер непрерывного действия типа «Комета 2» и координатный стол, обеспечивавший необходимое перемещение луча лазера относительно наплавлявшихся образцов. Наплавка велась на образцы размером 25x25x8 мм изготовленные из стали 45. Применявшаяся схема наплавки показана на рис. 1.

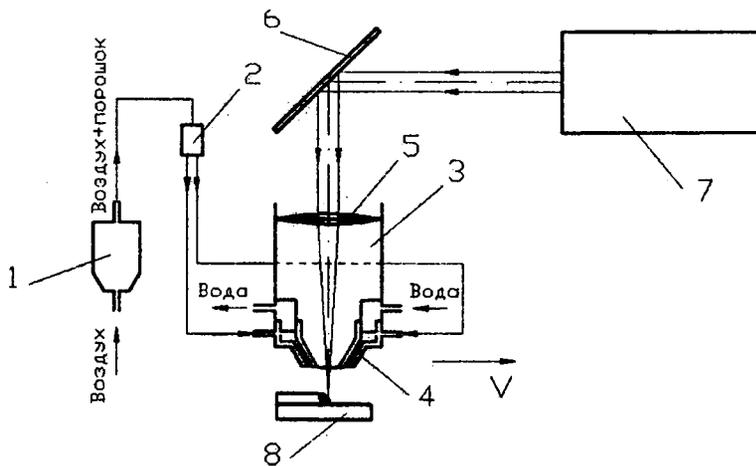


Рис. 1. Схема лазерной наплавки

Образец 8 устанавливался на поверхность стола, координатная система обеспечивала перемещение наплавочной головки-объектива 3 с коаксиальным наплавочным соплом 4, фокусирующей линзой 5 и системой поворотных зеркал 6 относительно образца с заданной скоростью наплавки V . Наплавляемый материал в питателе 1 смешивался с воздухом и в виде газопорошковой смеси поступал в распределитель 2, из которого он по четырем трубкам подавался в сопло 4. Луч лазера 7 через систему поворотных зеркал 6, и линзу 5 фокусировался на поверхности образца в той же точке, куда подавался порошок по наклонным каналам коаксиального сопла 4. Для предотвращения перегрева фокусирующей линзы 5 и сопла 4 в процессе наплавки, в корпусе головки-объектива 3 были предусмотрены специальные каналы, через которые протекала проточная вода.

После наплавки образцы разрезались в направлении перпендикулярном валикам, шлифовались и заливались в специальные оправки. Затем на полировальном станке изготавливались поперечные шлифы зон наплавки и определялись такие геометрические параметры поперечного сечения, как ширина валика I и высота – H , см. рис. 2.

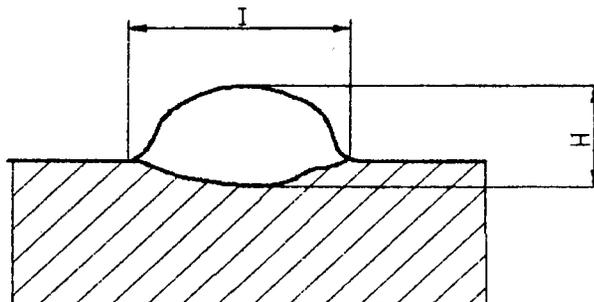


Рис. 2. Геометрические параметра наплавленных валиков:
 H - высота валика; I - ширина валика.

Замеры указанных параметров производились при помощи микротвердомера ПМТ-3, в конструкции которого имеются необходимые шкалы.

Полученные результаты приведены на рис. 3 – 10. Их анализ показал наличие определенных закономерностей при формировании геометрических параметров поперечного сечения валиков.

Установлено, что при увеличении дистанции наплавки ширина валиков уменьшается. Эта закономерность одинаково проявляется при всех исследованных режимах как при наплавке самофлюсующегося сплава на основе никеля, так и при наплавке сплава на железной основе (рис. 3 и рис. 4). Такую зависимость можно объяснить тем, что уменьшение дистанции наплавки приводит к расфокусировке луча лазера, при этом увеличивается пятно нагрева и, как следствие, увеличиваются диаметр ванны расплава и ширина валика.

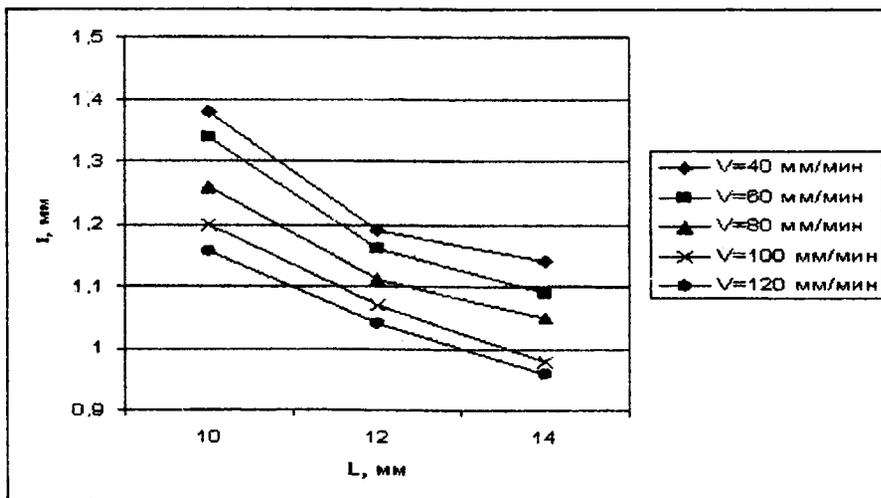


Рис. 3. Зависимость ширины валика I от дистанции наплавки L при скорости наплавки V для порошка ПГ-12Н-02

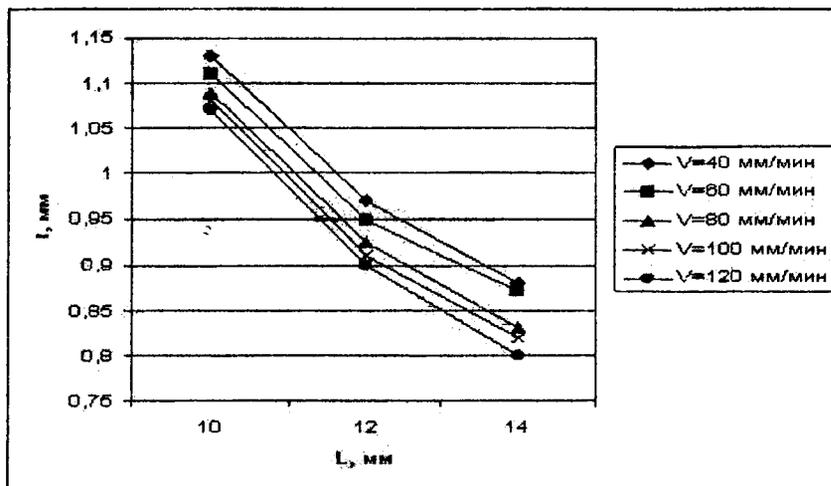


Рис. 4. Зависимость ширины валика I от дистанции наплавки L при скорости наплавки V для порошка ПГ-С27

Скорость наплавки, как видно из рис. 5, также довольно заметно влияет на ширину валика. При увеличении скорости наплавки самофлюсующегося сплава на основе никеля ширина валика уменьшается. Такая закономерность имеет место при всех применявшихся режимах наплавки.

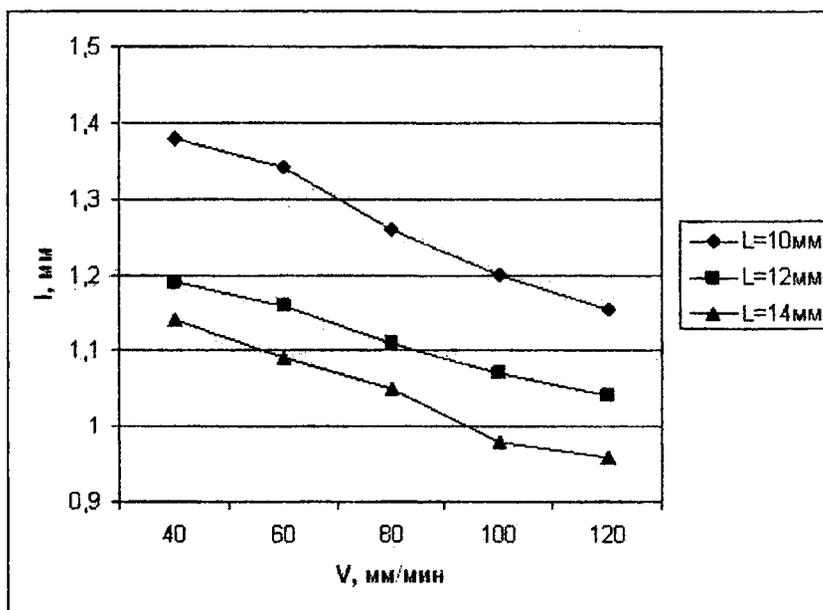


Рис. 5. Зависимость ширины валика I от скорости наплавки V при дистанции наплавки L для порошка ПГ-12Н-02

При лазерной наплавке порошка самофлюсующегося сплава на железной основе наблюдается такая же закономерность (рис. 6), однако в этом случае степень влияния скорости наплавки на ширину валика гораздо меньше. Наблюдавшаяся зависимость ширины валика от скорости наплавки объясняется тем, что при увеличении скорости наплавки один и тот же объем подаваемого в зону наплавки материала распределяется на большей длине наплавки. Естественно, что при этом ширина валика должна уменьшаться. Менее выраженное влияние скорости наплавки на ширину валика для порошка самофлюсующегося сплава на железной основе, по сравнению с самофлюсующимся сплавом на основе никеля связано, как представляется, с тем, что сплав на железной основе имеет более высокую температуру плавления. С этим же связано скорее всего и то, что ширина валиков из сплава на основе железа наплавленных при одних и тех же режимах наплавки практически всегда меньше ширины соответствующих валиков из сплава на основе никеля.

Высота наплавленных валиков, как показали проведенные исследования, также достаточно сильно зависит от режимов процесса лазерной наплавки (рис. 7–10).

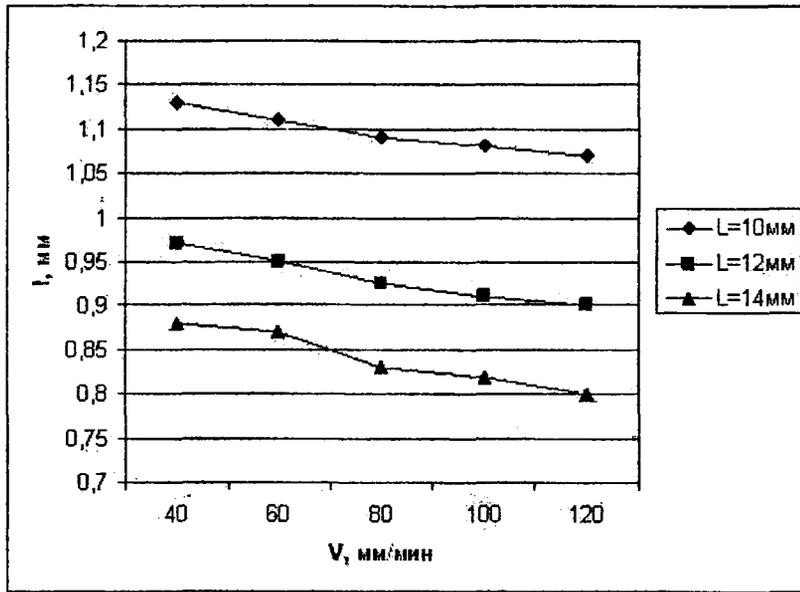


Рис. 6. Зависимость ширины валика I от скорости наплавки V при дистанции наплавки L для порошка ПГ-С27

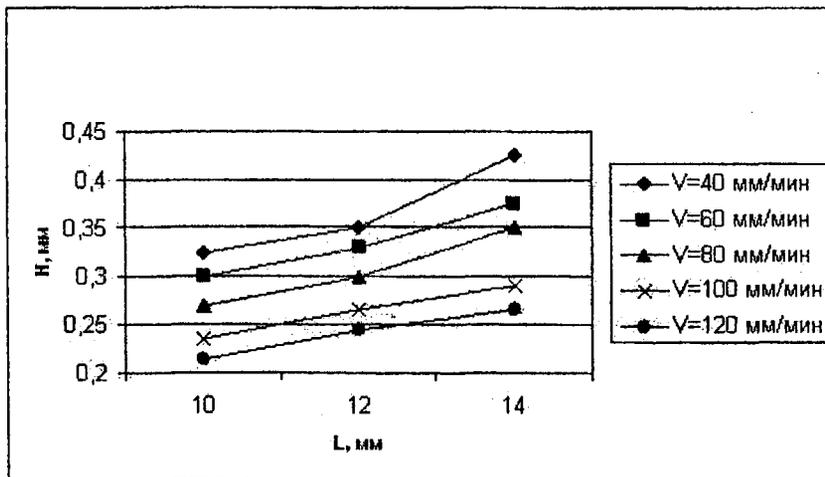


Рис. 7. Зависимость высоты валика H от дистанции наплавки L при скорости наплавки V для порошка ПГ-12Н-02

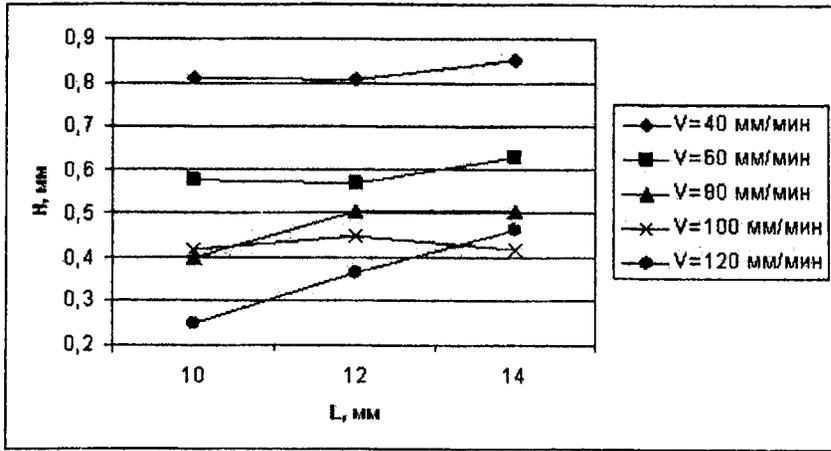


Рис. 8. Зависимость высоты валика H от дистанции наплавки L при скорости наплавки V для порошка ПГ-С27

Увеличение дистанции наплавки, как видно из рис. 7 и рис. 8, приводит к увеличению высоты валиков. Такой характер зависимости можно объяснить тем, что рост дистанции наплавки приводит к уменьшению количества вносимой в покрытие энергии, ванна расплава уменьшается в диаметре, поэтому из поступающего в зону наплавки порошка формируется все более узкий валик. Указанная закономерность справедлива при всех режимах наплавки. В этом случае при наплавке самофлюсующегося сплава на железной основе влияние дистанции наплавки на высоту валиков также менее выражено, чем в случае наплавки сплава на основе никеля, что связано с более высокой температурой плавления сплава на железной основе (рис. 8).

Влияние скорости лазерной наплавки на высоту валиков показано на рис. 9 и 10. Из них видно, что скорость наплавки оказывает более существенное влияние на высоту валиков по сравнению с дистанцией наплавки.

При увеличении скорости лазерной наплавки высота валиков заметно уменьшается. Такая зависимость наблюдается как при наплавке самофлюсующегося сплава на основе никеля, так и при наплавке сплава на основе железа. Так же как при исследовании ширины валиков, такую закономерность можно объяснить тем, что с увеличением скорости наплавки один и тот же объем наносимого материала распределяется на большей длине валика.

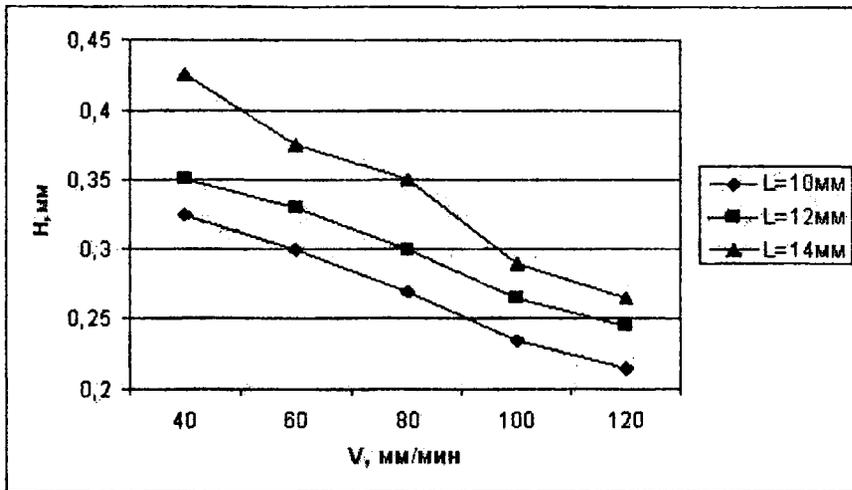


Рис. 9. Зависимость высоты валика H от скорости наплавки V при дистанции наплавки L для порошка ПГ-12Н-02

Таким образом, исследования показали, что режимы процесса оказывают существенное влияние на форму и размеры поперечного сечения валиков получаемых при лазерной наплавке. Это обстоятельство нельзя игнорировать при назначении режимов наплавки для конкретных деталей, особенно в случаях, когда необходимо точное воспроизведение определенной геометрии и формы наплавляемого объекта. Последнее обстоятельство тем более важно в процессах 3D прототипирования, когда лазерная наплавка является только частью достаточно сложного технологического процесса непосредственного формирования детали.

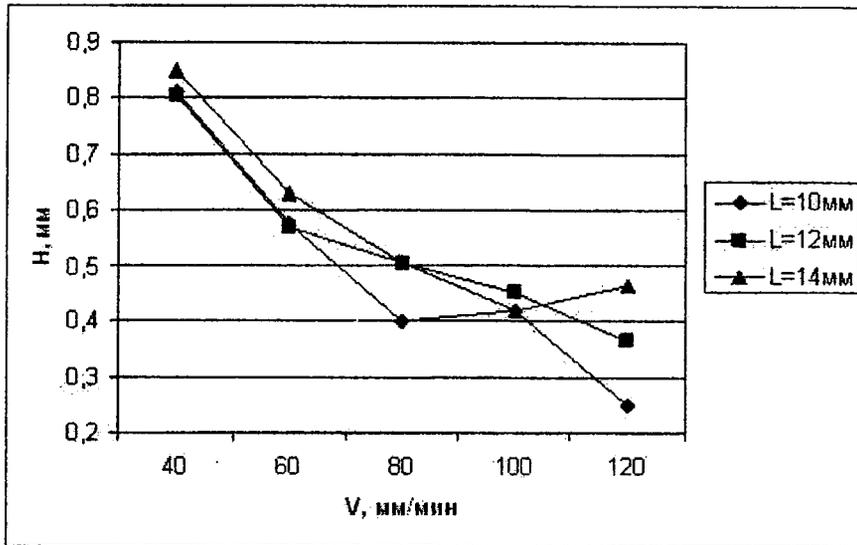


Рис. 10. Зависимость высоты валика H от скорости наплавки V при дистанции наплавки L для порошка ПГ-С27

Также установлено, что геометрические параметры поперечного сечения валиков из самораспространяющихся сплавов на основе никеля и на основе железа сходным образом зависят от режимов лазерной наплавки. Однако, в силу более низкой температуры плавления самораспространяющихся сплавов на основе никеля, геометрические параметры формируемых из них валиков гораздо сильнее зависят от параметров процесса, чем аналогичные размеры валиков из сплава на основе железа. Из этого обстоятельства можно сделать вывод, что для лазерной наплавки при наличии двух возможных для нанесения материалов, технологически более выгодно использовать материал, имеющий меньшую температуру плавления, так как подбор режимов для него осуществляется проще, чем для материала с большей температурой плавления.

ЛИТЕРАТУРА

1. U. de Oliveira, V. Oceli'k, J.Th.M. De Hosson, Analysis of coaxial laser cladding processing conditions // Surface & Coatings Technology. – 2005. – № 197. – P.127-136.
2. A.J. Pinkerton and L. Li, Multiple-layer cladding of stainless steel using a high-powered diode laser: an experimental investigation of process characteristics and material properties // Thin Solid Films. – 2004. – № 453-454. – P. 471-476.
3. Geyan Fu, Jianjun Shi, Tuo Shi, Analyze and Research of Corrosion Resistance of Laser Cladding Layer on the Anti-Acid Stainless Steel Surface // Knowledge Enterprise: Intelligent Strategies in Product Design, Manufacturing And Management, Springer Boston. – 2006. – № 207. – P. 723-728.
4. M.C. Sahour, A. Bahloul, A.B. Vannes, Characteristics of the laser clad metal made with powder mixture of Ni-based alloy and tungsten carbide // International Journal of Material Forming. – 2008. – №1, P. 1379-1382.
5. Chien-Kuo Shal, Hsien-Lung Tsai, Hardfacing characteristics of S42000 stainless steel by using CO₂ laser // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2001. – V.10, № 1. – P. 37-41.
6. J. Mazumder, A crystal ball view of direct-metal deposition // JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society. – 2000. – V. 52, № 12. – P. 28-29.
7. S. Nowotny, S. Scharek, E. Beyer, K.H. Richter, Laser Beam Build-Up Welding: Precision in Repair, Surface

Cladding, and Direct 3D Metal Deposition // Journal of Thermal Spray Technology. – 2007. – V. 16, № 3. - P. 344-348. 8. Jiang Wu, Bo Gao, Hua Tan, Jing Chen, Chak-yin Tang, Chi-pong Tsui, A feasibility study on laser rapid forming of a complete titanium denture base plate // Lasers in Medical Science. – 2008. - № 8. - P. 107-108. 9. J. Mazumder, A. Schifferer, J. Choil, Direct materials deposition: designed macro and microstructure // Materials Research Innovations. – 1999. – V. 3, № 3. - P. 118-131. 10. E. Amsterdam, G.A. Kool, High Cycle Fatigue of Laser Beam Deposited Ti-6Al-4V and Inconel 718 in ICAF2009 // Bridging the Gap between Theory and Operational Practice, part 8, Springer Netherlands. - 2009, P. 1261-1274. 11. C.A. Brice, H.L. Fraser, Characterization of Ti-Al-Er alloy produced via direct laser deposition // Journal of Materials Science. – 2003. - V. 38, № 7. - p. 1517-1521. 12. J.H. Abbond, R.D. Rawlings, D.R.F. West, Functionally graded nickel-aluminide and iron-aluminide coatings produced via laser cladding // Journal of Materials Science. – 1995. - V. 30, № 23. - P. 5931-5938. 13. J.H. Abboud, D.R.F. West, E.D. Rawings, Functionally gradient titanium-aluminide composites produced by laser cladding // Journal of Materials Science. – 1994. – V. 29, № 13. - P. 3393-3398. 14. J.M. Pelletier, M.C. Sahour, M. Pilloz, A.B. Vannes, Influence of processing conditions on geometrical features of laser cladding obtained by powder injection // Journal of Materials Science. – 1993. – V. 28, № 19. - P. 5184-5188. 15. C. Lalas, K. Tsirbas, K. Salonitis, G. Chrysolouris, An analytical model of the laser clad geometry // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2007. – V. 32, № 1-2. - P. 34-41. 16. A.F.A. Hoadley, M. Rappaz, A thermal model of laser cladding by powder injection // Metallurgical and Materials Transactions B. – 1992. – V. 23, № 5. - P. 631-642. 17. Huan Qi, Magdi Azer, Prabhjot Singh, Adaptive toolpath deposition method for laser net shape manufacturing and repair of turbine compressor airfoils // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - 2009. - № 9. - P. 170-179.

УДК 621.9

Ильясевич Е.Г., Беляев Г.Я

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ ПРИПУСКОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Разработка технологических процессов изготовления различных деталей машин предусматривает расчет припусков и межоперационных размеров для выполняемых технологических переходов. Правильный расчет припусков и межоперационных размеров является одним из самых важных факторов, определяющих гарантированное достижение требуемой точности изготавливаемой детали на основе последовательного уточнения заготовки на каждой из проходимых технологических операций.

Увеличенные припуски на обработку вызывают необходимость введения дополнительных технологических переходов, увеличивают трудоемкость процессов обработки, расход металла, электроэнергии, инструмента и, как следствие, рост себестоимости продукции.

Уменьшенные припуски на обработку не обеспечивают удаления дефектных поверхностных слоев металла, получение требуемой точности и чистоты обрабатываемых поверхностей, а в ряде случаев создаются неблагоприятные условия для работы режущего инструмента в зоне твердой корки. В результате не обеспечивается возможность надлежащей механической обработки и повышается процент брака, что также приводит к увеличению себестоимости продукции.