PRESS-FORMA PLITALARI KONSTRUKSIYALARINING MATERIAL SIG'IMINI KAMAYTIRISHDA ADDITIV TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISH

Valijonov Behruzbek Baxrom o'g'li
Olmaliq davlat texnika institute talabasi
E-mail: valijonov0569@gmail.com

Annotatsiya. Maqola additiv ishlab chiqarish usullaridan foydalanish orqali press-forma detallari konstruksiyalarining material sig'imini kamaytirishning dolzarb muammosiga bag'ishlangan. Nisbatan yuqori mustahkamlik zaxirasiga ega bo'lgan zonalardan materialni olib tashlash metodikasidan foydalanish hisobiga konstruksiya detallari material sig'imini kamaytirish va shu bilan birga ularning mustahkamlik xususiyatlarini saqlab qolish masalasi yechimi keltirilgan. Tadqiqotlar olib borilgan metodika va konstruksiyalarning material sig'imini kamaytirish algoritmini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilgan. Qo'yilgan vazifani hal qilish uchun press-forma plitalarining boshlang'ich va modifikatsiyalangan konstruksiyali uch o'lchamli modellari ishlab chiqildi. Material sig'imi kamaytirilgan modellarning funksional xususiyatlarga mosligini aniqlash maqsadida tahlil o'tkazildi.

Kirish. Press-forma turli konfiguratsiyadagi buyumlarni tayyorlash uchun keng qo'llaniladigan texnologik jihoz hisoblanadi. Press-formalarning tarkibiy qismi bo'lgan "plita" turidagi detallar konstruksiyasining material sig'imini kamaytirish imkoniyati mavjud bo'lib, bu ularni tayyorlash vaqtini sezilarli darajada qisqartiradi va natijada butun press-formani ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytiradi. Shu bilan birga, detal konstruksiyalarining material sig'imini kamaytirish ko'proq mexanik ishlov berish doirasida qo'llaniladi, additiv ishlab chiqarish esa ushbu jihatdan detal va buyumlar massasini kamaytirishda yuqori samaradorlikni namoyon etadi.

Hozirgi vaqtda material sig'imini kamaytirishning quyidagi asosiy yo'nalishlari

ma’lum:

1. Massani kamaytirish.

2. Materialdan foydalanish koeffitsiyentini oshirish (mashinaning asosiy parametrining massasiga nisbati).

3. Ratsional material tanlash.

4. Uzellar va detallarni unifikatsiya qilish.

5. Ortiqcha mustahkamlik zaxiralarini bartaraf etish, metall materiallarni nometall materiallar bilan almashtirish va mustahkam materiallardan foydalanish orqali konstruktiv sxemalarni ratsionallashtirish.

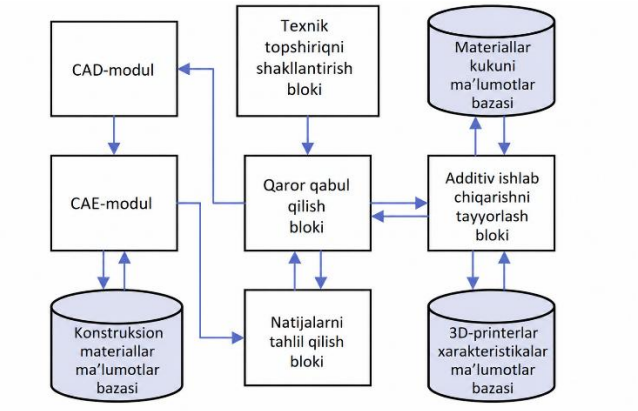
Massani kamaytirish material sig‘imini kamaytirishning eng keng tarqalgan usuli hisoblanadi.

Usullardan biri — detallarni ratsional yuklash bo‘lib, bunda kuchlanishlar detalning bo‘ylama o‘qi bo‘yicha har bir kesimida va ushbu kesimning har bir nuqtasida bir xil bo‘ladi. Bu yuklama detal kesimining butun yuzasi tomonidan qabul qilinganda (siqilish-cho‘zilish holatida) mumkin bo‘ladi. Shu tariqa teng mustahkamlikka erishiladi. Egilish, buralish va murakkab kuchlanish holatlarida kuchlanishlar kesim bo‘ylab notekis taqsimlanadi (ya’ni imkon qadar egilish va buralishni cho‘zilish-siqlishga almashtirishga intilish kerak). Kesimning kam yuklangan markaziy qismini olib tashlash kuchlanishlarning yanada tekis taqsimlanishini ta’minlaydi.

Shunday qilib, detallarni yengillashtirish yo‘nalishlaridan biri — kuch oqimidan chetda joylashgan va kam kuchlangan zonalardan metallni olib tashlash hisoblanadi. Mexanik ishlov berish doirasida konstruksiyaning metall sig‘imini kamaytirish bilan bir qatorda detalni ishlab chiqarish texnologikligi masalasi ham yuzaga keladi. Materialni olib tashlashda asosiy konstruktiv elementlarni (masalan, teshiklar, пазлар va boshqalar) o‘z ichiga olgan zonalarni saqlab qolish muhim bo‘lib, bu murakkab ishlov beriladigan geometriyaning shakllanishiga olib keladi. Additiv ishlab

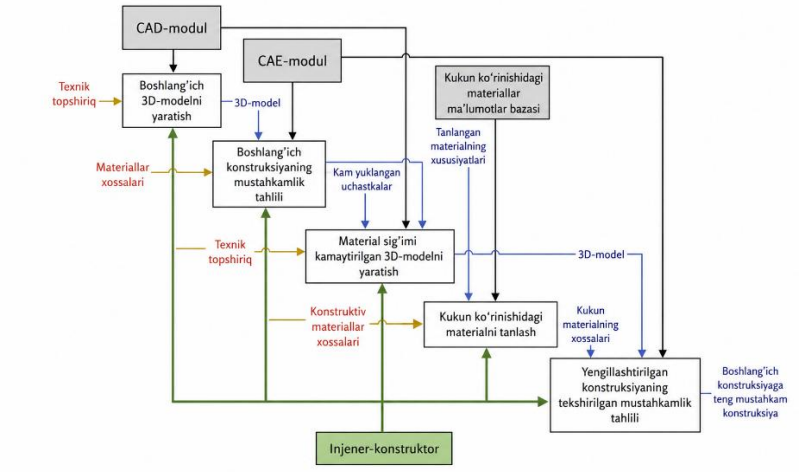
chiqarishda esa texnologiklik unchalik muhim emas, chunki qatlamma-qatlam sintez juda murakkab geometriyalarni shakllantirish imkonini beradi. Demak, additiv ishlab chiqarish doirasida detal konstruksiyalarining material sig‘imini yanada moslashuvchan va samarali tarzda kamaytirish mumkin.

Tadqiqot usullari va materiallari. Qo‘yilgan vazifani hal qilish uchun konstruksiyaning material sig‘imini kamaytirish metodikasi ishlab chiqildi. Ushbu metodika tarkibiga CAD va CAE modullari, texnik topshiriqni shakllantirish, qaror qabul qilish, natijalarni tahlil qilish va additiv ishlab chiqarishni tayyorlash bloklari, shuningdek materiallar va 3D-printerlar ma’lumotlar bazalari kiritilgan (1-rasm).



1-rasm. *Additiv ishlab chiqarish doirasida konstruksiyalar material sig‘imini kamaytirish metodikasining strukturaviy-funksional sxemasi*

Ushbu metodikaning asosiy vazifasi boshlang‘ich konstruksiyaga teng mustahkamlikka ega bo‘lgan yengillashtirilgan detal konstruksiyasini yaratishdan iborat. Ushbu vazifaning dekompozitsiyasi amalga oshirildi, natijada tegishli kirishlar, chiqishlar, boshqaruvlar va mexanizmlarga ega bo‘lgan o‘zaro bog‘liq beshta funksiya aniqlandi (2-rasm).



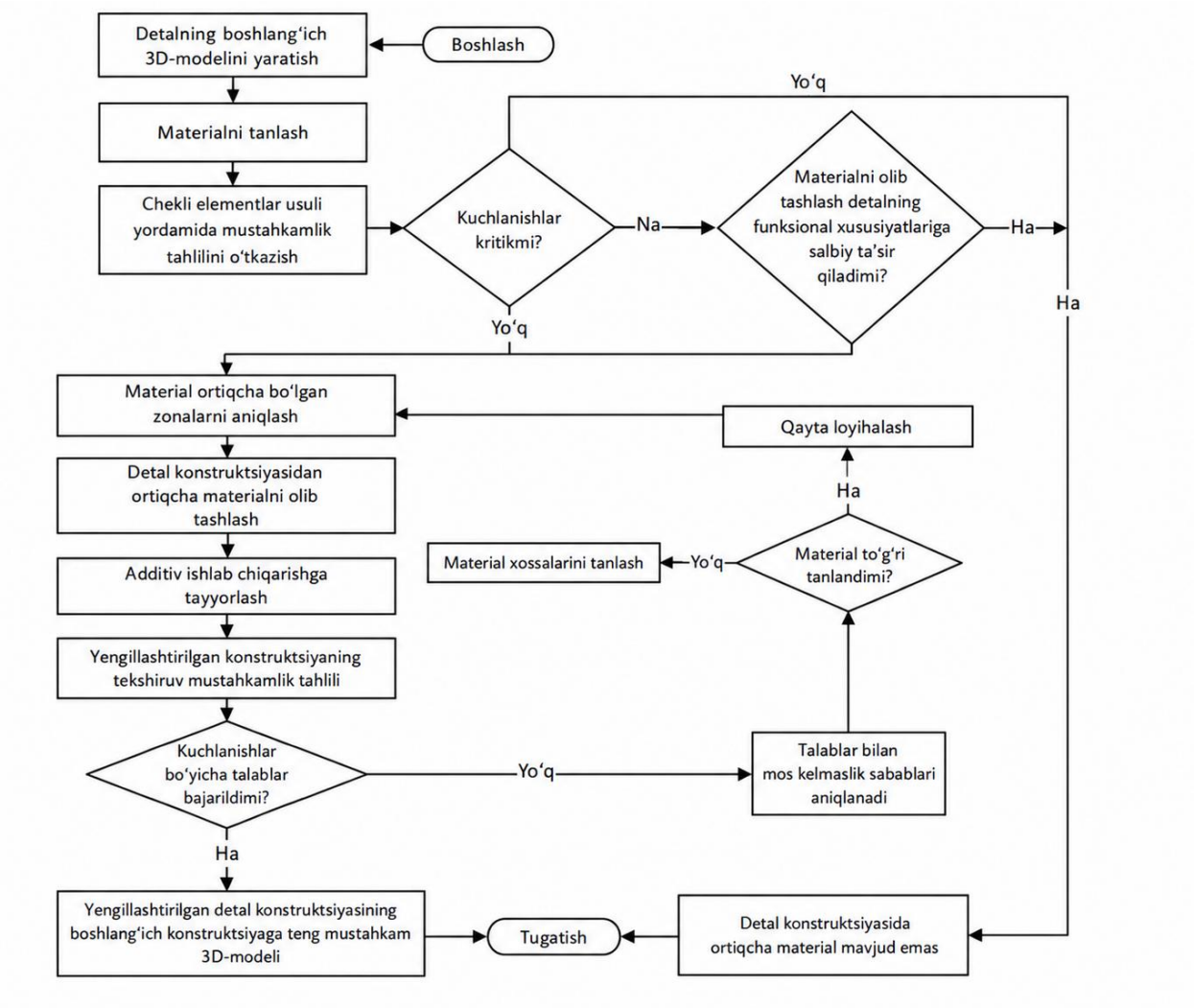
2-rasm. *Additiv ishlab chiqarish doirasida konstruksiya material sig‘imini kamaytirish metodikasining kontekst diagrammasi*

Additiv ishlab chiqarish doirasida konstruksiyalar material sig‘imini kamaytirish metodikasi besh bosqichni o‘z ichiga oladi. Birinchi bosqich texnik topshiriqqa mos keluvchi detalning boshlang‘ich uch o‘lchamli geometrik modelini yaratishdan iborat. Ikkinchi bosqichda kam yuklangan zonalarni aniqlash maqsadida avtomatlashtirilgan loyihalash tizimi (SAPR) yordamida chekli elementlar usuli asosida konstruksiyaning mustahkamlik tahlilini o‘tkazish zarur. Yuqori kuchlanishga uchraydigan zonalar past mustahkamlik zaxirasi koeffitsiyentiga ega bo‘ladi, demak konstruksiyada ortiqcha material mavjud emas va keyingi bosqichlarni amalga oshirish maqsadga muvofiq emas. Uchinchi bosqichda kam yuklangan zonalardan materialni olib tashlash bo‘yicha qaror qabul qilinadi, material olib tashlanadigan taxminiy zonalarni belgilovchi eskiz yaratiladi va so‘ngra material sig‘imi kamaytirilgan 3D-model shakllantiriladi. To‘rtinchi bosqich additiv ishlab chiqarish usulini tanlashni nazarda tutadi. Ushbu usul kukunsimon material va tegishli uskuna bilan birgalikda detalning zarur fizik-mexanik xususiyatlarini ta’minlashi kerak.

Beshinchi bosqichda yengillashtirilgan va boshlang‘ich konstruksiyalar o‘rtasidagi teng mustahkamlikni aniqlash maqsadida tekshiruv mustahkamlik hisobi amalga oshiriladi. Agar kuchlanishlar va mustahkamlik zaxirasi koeffitsiyenti ruxsat

etilgan qiymatlar doirasida bo‘lsa, bunday konstruksiya boshlang‘ich konstruksiyaga teng mustahkam hisoblanadi va ushbu metodikaning yakuniy natijasini ifodalaydi. Aks holda, qayta loyihalashni amalga oshirish va jarayonni takrorlash zarur bo‘ladi.

Additiv ishlab chiqarish doirasida material sig‘imini kamaytirish algoritmi 3-rasmda keltirilgan.

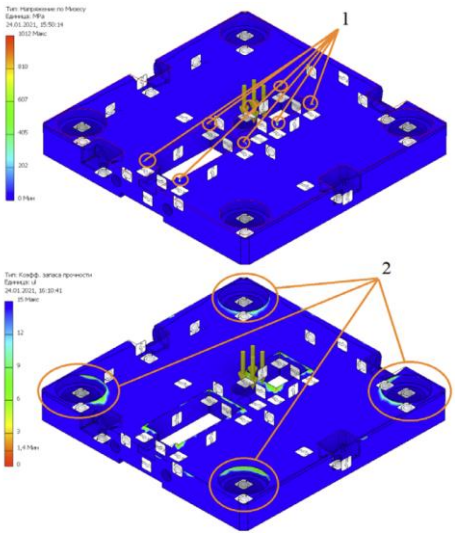


3-rasm. *Additiv ishlab chiqarish doirasida konstruksiya material sig‘imini kamaytirish algoritmi*

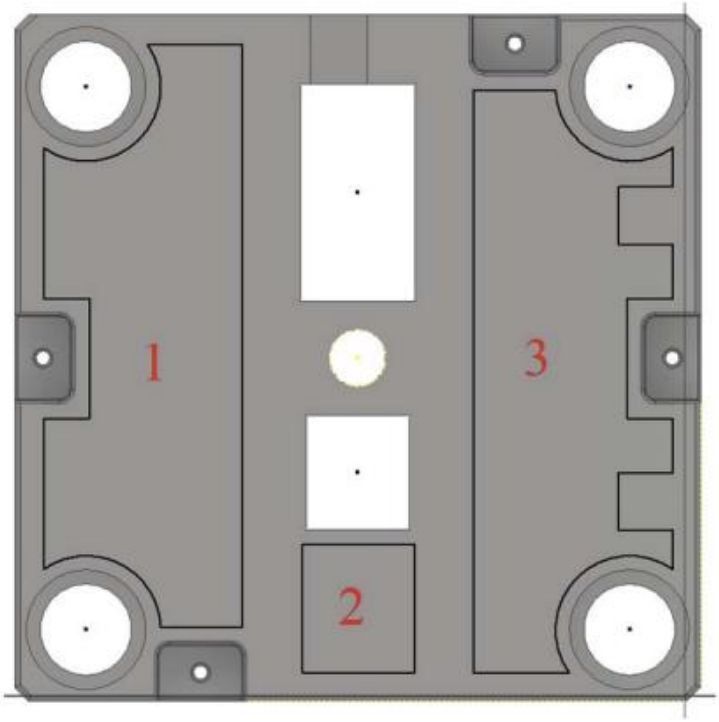
Yuqorida tavsiflangan metodika asosida konstruksiya material sig‘imini kamaytirish imkoniyatlarini tadqiq qilish uchun press-formaning yig‘ma

birikmalaridan biri bo‘lgan “Qo‘zg‘almas plita” tipidagi namunaviy detal tanlandi. Detal 5XNM po‘latidan tayyorlanadi va yuqori tekislik bo‘ylab bir tekis taqsimlangan 100 MPa maksimal bosim ta’sirida ishlaydi. “Autodesk Inventor” SAPR dasturida detalning 3D-modeli yaratildi, so‘ngra “Kuchlanishlar tahlili” moduli qo‘llanildi. Detalning mustahkamligi chekli elementlar usuli yordamida hisoblangandan so‘ng hisobot olindi (4-rasm).

Tahlil davomida o‘rganilayotgan detal umumiy holatda yuqori kuchlanishlarga duch kelmasligi, biroq 1-cho‘ntaklardagi ariqchalar kuchlanish konsentratorlari ekanligi aniqlandi. Keyingi tahlillar kuchlanish konsentratorlari mustahkamlik zaxirasi koeffitsiyentiga salbiy ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi (ushbu zonalarda u eng kichik qiymatga ega). Biroq shuni ta’kidlash kerakki, ariqchali cho‘ntaklar yaqinidagi zonalar ham nisbatan past mustahkamlik zaxirasi koeffitsiyentiga ega, 2-teshiklar atrofidagi zonalarda esa bu ko‘rsatkich o‘rtachadan yuqori. Shuningdek, detalning katta qismida kam yuklangan zonalar mavjudligi aniqlandi, ular uchun yuqori mustahkamlik zaxirasi koeffitsiyenti ta’minlangan va aynan shu zonalarda materialni olib tashlash mumkin. Barcha konstruktiv elementlarni saqlab qolish va mustahkamlik tahlili natijalarini hisobga olgan holda, detal konstruksiyasida ortiqcha materialni olib tashlash mumkin bo‘lgan uchta taxminiy zona mavjudligi aniqlandi (5-rasm).



4-rasm. *Tadqiq qilinayotgan detalning mustahkamlik tahlili*



5-rasm. *Boshlang‘ich detalning ortiqcha materiallarini olib tashlash uchun mo‘ljallangan 1, 2, 3-zonalar*

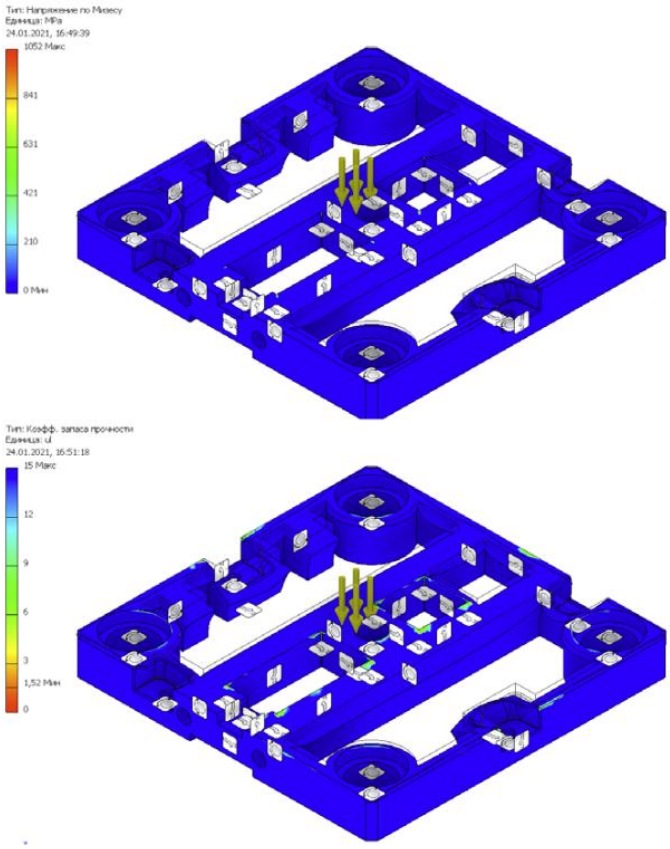
Additiv ishlab chiqarish doirasida detalni tayyorlash uchun selektiv lazerli eritish (Selective Laser Melting) texnologiyasi tanlandi. Ushbu texnologiyada mayda donador metall kukunlarini tanlab eritish uchun yuqori quvvatli tolali itterbiy lazer qo‘llaniladi. Mazkur texnologiyani qo‘llash detal konstruksiyasida kichik o‘lchamdagi ariqchalar va teshiklarning mavjudligi bilan bog‘liq. Material sifatida yuqori xrom tarkibiga ega bo‘lgan qattiq zanglamaydigan po‘lat kukuni CL 91RW dan foydalanish mumkin, chunki uning xususiyatlari 5XNM po‘latiga yaqin hisoblanadi, bu jadvalda ko‘rsatilgan.

Parametr nomi	**CL 91RW uchun qiymatlar**	**5XNM uchun qiymatlar**
Mustahkamlik chegarasi, MPa	1650–1700	1570

Parametr nomi	CL 91RW uchun qiymatlar	5XNM uchun qiymatlar
Oquvchanlik chegarasi, MPa	1550–1600	1420
Yung moduli, MPa	$2 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^8$
Qattiqlik, HRC	48–50	39–57
Issiqlik o‘tkazuvchanligi, Vt/m·K	18–20	38–46
Uzilishdagi nisbiy cho‘zilish, %	kamida 2	9
Zichlik, g/sm³	7,85	7,85

1-jadval. CL 91RW kukuni va 5XNM po‘latining fizik-mexanik xususiyatlarini taqqoslash

Ko‘rib chiqilayotgan materiallarning zichligi va Yung moduli bir xil. “CL 91RW” kukunining yuzaviy qattiqligi termik ishlov berilgan “5XNM” po‘latining yuzaviy qattiqligiga taxminan teng. Metall kukunining issiqlik o‘tkazuvchanligi po‘latnikiga qaraganda ancha past. Shuningdek, kukun oquvchanlik va mustahkamlik chegaralarining yuqoriroq qiymatlariga ega.



6-rasm. *Yengillashtirilgan konstruksiyaning tekshiruv mustahkamlik tahlili*

Tadqiqot natijalari va ularning muhokamasi. “Qo‘zg‘almas plita” detalini selektiv lazerli eritish usuli bilan uch o‘lchamli chop etish uchun “SLM 500 HL” printeri [5] tanlanishi mumkin, chunki unda avval ko‘rib chiqilgan kukun materialidan foydalanish mumkin, shuningdek qurilish kamerasining hajmi detalning gabarit o‘lchamlariga mos keladi. Shundan so‘ng yengillashtirilgan detal konstruksiyasi uchun ham uning funksional vazifasiga mosligini aniqlash maqsadida xuddi shunday mustahkamlik tahlili amalga oshirildi (6-rasm). Bunda kuchlanishlarning taqsimlanishi o‘zgarmadi, ya’ni ularning konsentratorlari avvalgidek ariqchalar bo‘lib qoldi. Shuni ta’kidlash kerakki, ulardagi maksimal kuchlanishlar 40 MPaga oshdi. Biroq CL 91RW kukuni 5XNM po‘latiga nisbatan yuqoriroq oquvchanlik va mustahkamlik chegaralariga ega bo‘lgani sababli, mustahkamlik zaxirasi koeffitsiyentining minimal qiymati 0,12 ga oshdi. Bu yuqorida tavsiflangan sharoitlarda olingan konstruksiya

boshlang‘ich detalga qaraganda mustahkamroq ekanligini ko‘rsatadi. Shu sababli, konstruksiyaning material sig‘imini kamaytirishning ushbu usuli mashinasozlikda additiv ishlab chiqarish doirasida qo‘llanilishi mumkin. Materialni olib tashlash press-forma plitalari konstruksiyalarining material sig‘imini kamaytirishning samarali usuli ekanligi aniqlandi. Tadqiqot davomida materialni yuqori mustahkamlik zaxirasi koeffitsiyentiga ega bo‘lgan zonalardan olib tashlash maqsadga muvofiqligi aniqlandi. Shuningdek, press-forma plitalarini additiv ishlab chiqarish usullari bilan tayyorlashda fizik xususiyatlari dastlab detal tayyorlashda qo‘llanilgan qotishma xususiyatlaridan yuqori bo‘lgan kukunsimon materiallardan foydalanish zarurligi belgilandi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari press-forma plitalari konstruksiyalarining material sig‘imini kamaytirishda additiv texnologiyalardan samarali foydalanish mumkinligini ko‘rsatdi. Chekli elementlar usuli yordamida o‘tkazilgan mustahkamlik tahlili natijasida konstruksiyada yuqori mustahkamlik zaxirasiga ega bo‘lgan va kam yuklangan zonalar aniqlandi hamda ushbu hududlardan materialni olib tashlash imkoniyati asoslandi.

O‘tkazilgan tahlillar material sig‘imi kamaytirilgan konstruksiyaning funksional xususiyatlari va mustahkamlik ko‘rsatkichlari saqlanib qolishini tasdiqladi. Additiv ishlab chiqarish texnologiyalaridan foydalanish detal massasini kamaytirish, material sarfini qisqartirish hamda ishlab chiqarish xarajatlarini pasaytirishga xizmat qiladi. Shuningdek, murakkab geometrik shakllarni yaratish imkoniyati ushbu texnologiyaning muhim afzalliklaridan biri hisoblanadi.

Tadqiqot natijalari asosida press-forma plitalarini tayyorlashda yuqori mexanik xususiyatlarga ega bo‘lgan metall kukunlaridan foydalanish maqsadga muvofiq ekanligi aniqlandi. Kelgusida ushbu metodikani boshqa turdagi mashinasozlik detallariga qo‘llash hamda konstruksiyalarni topologik optimallashtirish usullari bilan birgalikda takomillashtirish additiv texnologiyalarning samaradorligini yanada oshirish imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar va manbalar

1. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя*. — Москва: Машиностроение, 2011.
2. Gibson I., Rosen D., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. — New York: Springer, 2021.
3. Concept Laser GmbH. *Material Data Sheet CL 91RW*. — Germany, 2020.
4. ГОСТ 5950–2000. *Инструментальные легированные стали. Технические условия*. — Москва: Стандартинформ, 2000.
5. SLM Solutions Group AG. *SLM®500 Metal 3D Printer Technical Specifications*. — Germany, 2021.
6. Kalpakjian S., Schmid S.R. *Manufacturing Engineering and Technology*. — Pearson Education, 2014.
7. Gu D. *Laser Additive Manufacturing of High-Performance Materials*. — Berlin: Springer, 2015.
8. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. *The Finite Element Method*. — Oxford: Butterworth-Heinemann, 2005.
9. Chua C.K., Leong K.F. *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications*. — Singapore: World Scientific Publishing, 2017.
10. ASTM International. *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*. — ASTM F2792-12a, 2012.
11. ISO/ASTM 52900:2021. *Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*. — Geneva: ISO, 2021.
12. Gebhardt A. *Understanding Additive Manufacturing*. — Munich: Hanser Publishers, 2012.